

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL RECH DOS SANTOS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FORMA DO PROJETO
ARQUITETÔNICO NO DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS DE
ALVENARIA ESTRUTURAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2015

GABRIEL RECH DOS SANTOS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FORMA DO PROJETO
ARQUITETÔNICO NO DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS DE
ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado ao Curso Superior de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof.^a MEng. Lucia Bressiani

TOLEDO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 005

Análise da influência da forma do projeto arquitetônico no dimensionamento de projetos de alvenaria estrutural

por

Gabriel Rech dos Santos

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16:30 h do dia **11 de Junho de 2015** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr Lucas Boabaid Ibrahim
(UTFPR – TD)

Prof. MEng Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)

Prof.^a MEng Lucia Bressiani
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr Lucas Boabaid Ibrahim
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela vida, pela sabedoria, por todas as minhas conquistas, e por ter colocado em meu caminho pessoas tão especiais, que não mediram esforços em me ajudar durante esta conquista.

Aos meus familiares pelo apoio incondicional, por serem minha base, em especial minha mãe Luiza e meu pai Oldacir por todos os esforços para garantir meus estudos e pelos ensinamentos de vida.

À professora Lucia Bressiani pelas orientações, por compartilhar os conhecimentos adquiridos e pela confiança em meu trabalho.

Aos colegas de faculdade da UTFPR Toledo que sempre estiveram presentes, colaborando nas dificuldades do dia a dia e participando de momentos de alegrias.

Aos meus colegas de trabalho da Construtora Bettega, pelo auxílio e apoio, compartilhando conhecimentos e experiências.

A todos os meus amigos pela parceria e companheirismo durante esta jornada.

RESUMO

Santos, Gabriel R. Análise da influência da forma do projeto arquitetônico no dimensionamento de projetos de alvenaria estrutural. 72 f. Monografia, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2015.

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo tradicional e racionalizado, no qual as paredes possuem a função estrutural de sustentar a edificação. Ainda que existam muitos relatos na literatura a respeito do tema, o dimensionamento de projetos com essa metodologia apresenta-se incipiente, tendo em vista que até a metade do século XX os projetos eram realizados de forma empírica. Na atualidade não existem muitos estudos no tocante à influência do projeto arquitetônico no dimensionamento de projetos em alvenaria estrutural. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo projetar e dimensionar edificações utilizando esse método construtivo através de diferentes disposições arquitetônicas. Nessas condições, procurou-se verificar a influência de cada forma arquitetônica proposta na área de aço, resistência dos blocos e argamassa, bem como na quantidade de pontos de graute a serem utilizados no projeto estrutural. As formas arquitetônicas analisadas foram dimensionadas utilizando-se a mesma metodologia de cálculo estrutural. Nos resultados, apresenta-se uma análise detalhada de cada modelo estudado, visando caracterizar a melhor disposição arquitetônica para o método construtivo em alvenaria estrutural. Como resultados, apresenta-se a forma retangular, com relação base/altura de $\frac{1}{2}$, como a que conduz aos melhores resultados em termos de resistências de bloco, argamassa e área de aço. Porém, foi possível concluir também, que além da forma arquitetônica, a disposição dos ambientes internos, assim como a posição das aberturas, influenciam nos resultados de dimensionamento, podendo otimizar os resultados obtidos em qualquer forma considerada.

Palavras-chave: Alvenaria Estrutural. Dimensionamento. Eficiências de projetos.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
1.1.	JUSTIFICATIVA	10
1.2.	OBJETIVOS	11
1.2.1.	OBJETIVO GERAL	11
1.2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3.	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	12
1.4.	QUESTÃO DE PESQUISA	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1.	CONTEXTO HISTÓRICO DA ALVENARIA ESTRUTURAL	13
2.2.	ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL	14
2.3.	RACIONALIZAÇÃO	17
2.4.	VANTAGENS DA ALVENARIA ESTRUTURAL	18
2.5.	DESVANTAGENS DA ALVENARIA ESTRUTURAL	19
2.6.	REFERÊNCIAS NORMATIVAS	20
2.7.	MATERIAIS	21
2.7.1.	Blocos de concreto	21
2.7.2.	Argamassas	23
2.7.3.	Graute	24
2.7.4.	Armaduras	24
2.8.	PROJETO EM ALVENARIA ESTRUTURAL	26
2.9.	DIMENSIONAMENTO	27
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1.	INTRODUÇÃO	29
3.2.	CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS	29
3.3.	LEVANTAMENTO DAS AÇÕES VERTICAIS	30

3.3.1.	Cargas das paredes	30
3.3.2.	Cargas das lajes	33
3.3.3.	Transmissão de esforços atuantes na laje para paredes estruturais ...	34
3.3.4.	Distribuição do carregamento vertical entre as paredes	36
3.3.5.	Ações horizontais	37
3.3.5.1.	Ação do vento	38
3.3.5.2.	Desaprumo	39
3.3.6.	Distribuição das ações horizontais	40
	Figura 19 – Propriedades da Parede X1A do Projeto 1.	43
3.4.	PROCEDIMENTO DE CÁLCULO	43
3.4.1.	Dimensionamento à compressão simples	43
3.4.2.	Dimensionamento ao cisalhamento	45
3.4.3.	Dimensionamento à flexocompressão	47
3.4.3.1.	Tensões máximas de tração	47
3.4.3.2.	Tensões máximas de compressão	49
3.5.	Análise dos dados	50
4.	RESULTADOS	51
4.1.	Carregamento Vertical	51
4.2.	Ações Horizontais	52
4.3.	Dimensionamento à compressão	55
4.4.	Dimensionamento ao cisalhamento	59
4.5.	Dimensionamento à Flexocompressão	62
4.5.1.	Análise da tração na flexocompressão	62
4.5.2.	Análise da compressão na flexocompressão	65
4.5.3.	Síntese dos resultados	68
5.	CONCLUSÃO	71
5.1.	Sugestões para trabalhos futuros	72

REFERÊNCIAS	73
APÊNDICE A – Planta baixa do pavimento tipo para cada um dos cinco projetos estudados	76
APÊNDICE B – Modulação da planta baixa do pavimento tipo para cada um dos cinco projetos estudados	81
APÊNDICE C – Áreas de influências do pavimento tipo para cada um dos cinco projetos estudados	86
APÊNDICE D – Planta baixa apresentando os grupos de paredes do pavimento tipo para cada um dos cinco projetos estudados	91
APÊNDICE E – Levantamento de cargas para o pavimento tipo de cada projeto	96
APÊNDICE F – Resultados para ações do vento em cada um dos cinco projetos analisados	103
APÊNDICE G – Resultados para ações do vento em cada um dos cinco projetos analisados	105
APÊNDICE H – Dimensionamento ao cisalhamento do primeiro pavimento para cada um dos cinco projetos analisados.....	108
APÊNDICE I – Dimensionamento ao cisalhamento do primeiro pavimento para cada um dos cinco projetos analisados.....	111

1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é uma técnica construtiva considerada tradicional desde antes do século XX, tendo em vista que esse foi o método construtivo utilizado em edificações históricas como as Pirâmides de Gizé, Coliseu de Roma, Catedral de Reims, dentre outras. Porém, o dimensionamento da alvenaria com função estrutural na antiguidade era feito de maneira empírica, tendo em sua composição materiais de grande espessura. Essa característica fez com que as obras apresentassem em sua composição materiais de grandes dimensões, na maioria das vezes superdimensionadas.

Com o desenvolvimento das técnicas construtivas, bem como aperfeiçoamento dos equipamentos de laboratórios utilizados para testes de resistências dos materiais empregados, a alvenaria estrutural vem se tornando mais tecnológica e, devido a maior produtividade, mais rentável.

Tendo em vista o mercado cada dia mais exigente, aliado ao crescimento da industrialização no setor da construção civil brasileira, verifica-se a procura por maior produtividade e menores índices de desperdícios dentro dos canteiros de obras. O desenvolvimento histórico da construção civil no Brasil apresentou diversas modalidades de sistemas construtivos, muitos deles ainda utilizados atualmente. Nesse contexto, a inovação em buscar novos métodos e alternativas para as construções é um modo de tornar as empresas mais competitivas e aptas a explorar novos nichos de mercado.

A alvenaria estrutural se enquadra no contexto atual, apresentando como vantagens principais a racionalização, a qualidade, a redução de custo, maior rapidez na execução e menor desperdício de materiais.

A racionalização é uma alternativa para a evolução tecnológica dos processos construtivos. Com a racionalização pode-se aumentar o nível organizacional das construções e também o seu nível de industrialização. Fica estabelecido ainda um ambiente favorável à implantação de novas tecnologias, possibilitando um aumento na qualidade, tanto do processo construtivo, como dos produtos.

Recentemente foram publicadas normas específicas para o dimensionamento, execução e controle de obras de alvenaria estrutural com

blocos de concreto. São elas a NBR 15961-1 (2011) que trata de projetos e a NBR 15961-2 (2011) de execução e controle de obras.

Desta forma, o presente trabalho faz a comparação entre os resultados referentes ao dimensionamento de cinco edifícios de alvenaria estrutural com blocos de concreto, com variadas formas arquitetônicas, através da normatização vigente, procurando contribuir para a elaboração de projetos mais adequados para este sistema construtivo.

1.1. JUSTIFICATIVA

O método de construção em alvenaria estrutural está em constante desenvolvimento no Brasil, tanto na parte de execução como de projetos. É um método que vem apresentando diversas vantagens quando comparado aos métodos convencionais, que utilizam estruturas de concreto armado e alvenaria de vedação.

A alvenaria estrutural pode ser vista como uma opção de evolução para a construção civil, visto que a sustentação da edificação é garantida pelas próprias paredes, dispensando estruturas compostas de pilares e vigas. Por consequência, podem ser obtidos ganhos com a racionalização da obra, uma vez que é possível obter maior produtividade e rentabilidade, com um tempo de trabalho reduzido.

Através de uma análise na literatura é possível constatar que projetos de alvenaria estrutural só começaram a ser utilizados no Brasil a partir do final da década de 60, apesar de serem executadas várias obras com esse sistema construtivo antes desta época. Porém, os cálculos antes eram embasados em modelos empíricos.

Atualmente estão em vigor duas Normas Técnicas específicas para alvenaria estrutural de blocos de concreto. São elas a NBR 15961-1 (2011), que trata de projetos, e a NBR 15961-2 (2011), que trata da execução e controle de obras. As pesquisas sobre alvenaria estrutural desenvolvidas até o presente momento estão mais direcionadas para a análise dos materiais constituintes, como argamassas de assentamento, blocos cerâmicos e de

concretos, além de análises e comparações de custos e racionalização na obra. Outras pesquisas enfocam aplicações do método de cálculo. Porém, poucas pesquisas analisam a concepção de projetos em alvenaria estrutural, como a forma arquitetônica.

Desta forma, neste trabalho foi realizadoo estudoda influência da forma do projeto arquitetônico no dimensionamento estrutural, analisando a sua relação com a resistência dos blocos que deverão ser utilizados, resistência da argamassa, áreas de aço e pontos de grauteamento.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a influência da forma do projeto arquitetônico no dimensionamento de projetos de alvenaria estrutural.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir formas arquitetônicas, com base na literatura, de diferentes eficiências estruturais para análise;
- Efetuar o dimensionamento à compressão dos cinco projetos analisados;
- Efetuar o dimensionamento ao cisalhamento para os projetos selecionados;
- Efetuar o dimensionamento à flexocompressão para os projetos analisados;
- Analisar a relação entre a forma arquitetônica e as resistências dos blocos, pontos de grauteamento e área de armaduras.

1.3. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho se limita ao dimensionamento estrutural de cinco projetos de edifícios habitacionais em alvenaria estrutural de 8 pavimentos, utilizando blocos de concreto. Serão desenvolvidos projetos de plantas baixas com cinco eficiências conforme indicado na literatura, especificamente para a análise proposta.

1.4. QUESTÃO DE PESQUISA

Como questão de pesquisa tem-se:

A forma do projeto arquitetônico influencia na definição do bloco a ser utilizado, bem como na resistência da argamassa, quantidade de armadura e de pontos de graute em obras de alvenaria estrutural?

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONTEXTO HISTÓRICO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Ramalho e Corrêa (2003) destacam que a alvenaria estrutural é um sistema muito utilizado desde o início da atividade humana de executar estruturas. Construídas com diversos materiais, como argila e pedra, algumas estruturas desafiaram o tempo e chegaram aos dias atuais com séculos e até milênios passados da sua construção. Alguns exemplos são as Pirâmides de Gizé, o Coliseu de Roma e a Catedral de Reims.

Devido à ausência de procedimentos racionais de dimensionamento, antigamente as estruturas de alvenaria eram demasiadamente robustas e pouco econômicas na antiguidade. Com o surgimento das estruturas de aço e de concreto armado, respaldadas por teorias racionais de cálculo, esses novos tipos de estruturas proliferaram por todo o mundo e fizeram com que a alvenaria estrutural fosse relegada, até a metade do século XX, à um segundo plano (FREIRE, 2007).

Lourenço (1999) destaca a evolução do sistema a partir da Segunda Guerra Mundial, pois a alvenaria estrutural soube adaptar-se às novas exigências tecnológicas e estéticas da arquitetura contemporânea, ganhando espaço no mercado.

Yoshito (2005) afirma que foi Paul Haller o primeiro a dimensionar um edifício de alvenaria estrutural de modo racional, sendo esse um edifício de 13 andares localizado na Basileia. As paredes internas foram dimensionadas com 15 cm de espessura e as externas com 37,5 cm.

Na atualidade, o Hotel Excalibur (Figura 1) se destaca mundialmente como sendo o edifício mais alto construído em alvenaria estrutural, localizado em Las Vegas, Estados Unidos (ARMHEIN, 1998).



Figura 1 – Hotel Excalibur
Fonte: Vegas Vet Saver (2013)

O complexo do hotel é formado por quatro torres principais, sendo que cada uma é composta de 28 pavimentos, totalizando 1.008 apartamentos em cada torre. As paredes estruturais foram executadas em alvenaria estrutural de blocos de concreto e a resistência à compressão dos blocos utilizados na base da edificação foi aproximadamente 28 MPa (FIGUEIRÓ, 2009).

2.2. ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL

Segundo Camacho (2006) o Brasil possui características socioeconômicas favoráveis para o desenvolvimento de estudos na área da alvenaria estrutural.

As construções em alvenaria estrutural tiveram início no Brasil na década de 1960, tendo como primeiro relato um edifício de pequeno porte, com quatro pavimentos (Figura 2). Mas esse método construtivo só alavancou a partir da década de 1970, quando apareceram algumas edificações de maior porte. Em São Paulo, no ano de 1972 foi concluído o Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa (Figura 3), composto por quatro torres de 12 pavimentos cada, totalizando 192 apartamentos, todo executado com blocos vazados de concreto. Também na década de 1970 foi construído o Edifício

Mutiri (Figura 4), em São José dos Campos, também com blocos vazados de concreto e com 16 pavimentos (ABCI, 1990).



Figura 2 – Primeiro relato de construção em alvenaria estrutural do Brasil

Fonte - RAMALHO E CORRÊA 2003



Figura 3 – Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa
Fonte: ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland)



Figura 4 – Edifício Muriti
Fonte: ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

Apesar da chegada tardia ao Brasil o processo construtivo em alvenaria estrutural acabou se firmando como uma alternativa eficiente e econômica para a execução de edifícios residenciais e também industriais (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Tavares (2011) cita que os estudos na alvenaria estrutural no Brasil começaram a se tornar mais interessantes a partir da década de 80, quando essa técnica foi aplicada em conjuntos habitacionais, associada como um sistema construtivo de baixa renda. Devido ao seu grande potencial para redução nos custos, atraindo assim o interesse de diversas construtoras que se interessaram em desenvolver a técnica para que ela se tornasse ainda mais vantajosa.

A permanência do desenvolvimento desse sistema construtivo no Brasil está ligada com a criação de grupos de pesquisas e de empresas fabricantes de blocos, sendo esses importantes suportes para a pesquisa na área. CAVALHEIRO (s. d.).

Com a abertura de novas fábricas de materiais no Brasil, o setor de pesquisa vem sendo desenvolvido em parceria com essas empresas do ramo

(cerâmicas, concreteiras, etc.), fazendo então que a cada dia mais as construtoras se interessem pelo sistema (Kalil, 2007).

Sabattini (2003) apresenta como exemplo da intensa aplicação do método construtivo em alvenaria estrutural no Brasil as habitações para famílias de baixa renda, aplicados em grande escala, com o programa do Governo Federal Minha Casa, Minha Vida.

2.3. RACIONALIZAÇÃO

Junior e Bavastri (2012) define a racionalização na alvenaria estrutural como um processo composto por todas as ações que objetivam aperfeiçoar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis em todas as fases da construção.

A racionalização apresenta-se como alternativa para a evolução tecnológica dos processos construtivos. Por meio da sua aplicação aumenta-se o nível organizacional dos empreendimentos e o nível de industrialização dos processos. Estabelece-se ainda um ambiente favorável à implantação de uma estratégia realista para o aumento da qualidade, tanto do processo construtivo, como dos produtos (FRANCO e AGOPYAN, 1994).

Ribeiro e Junior (2003) seguem a mesma linha de pensamento, afirmando que a racionalização está ligada com o estudo dos métodos construtivos, objetivando reduzir o tempo de trabalho com maior produtividade e conseqüentemente maior rentabilidade.

Para Figueiró (2009) a alvenaria estrutural é um sistema construtivo racionalizado, pois privilegia a integração das soluções em projeto, evitando assim o desperdício no canteiro de obras tanto de tempo como de recursos, humanos ou materiais.

Para Roman *et al* (s. d.) a racionalização da alvenaria estrutural no Brasil começou a se intensificar a partir de 1990, tendo como suas primeiras medidas

a adoção de blocos com modulação de 15cm, estacas pré-moldadas uso de equipamentos e ferramentas próprias para alvenaria estrutural.

O planejamento detalhado da construção, o não desperdício de tempo e material, o aumento da produção com redução de mão de obra e a padronização no método construtivo constituem a racionalização (FREIRE, 2007).

2.4. VANTAGENS DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Camacho (2006), Tavares (2011) e Kalil (2007) definem como as principais vantagens da alvenaria estrutural:

- Redução nos custos;
- Menor diversidade de materiais empregados;
- Redução da diversidade de mão de obra especializada;
- Maior rapidez de execução e robustez estrutural.

Kalil (2007) conclui, além das vantagens citadas, que a alvenaria estrutural tem outros fatores positivos, como:

- Projetos mais fáceis de detalhar;
- Os projetos têm boa flexibilidade arquitetônica proporcionada devido as pequenas dimensões dos blocos;
- Maior facilidade na execução;
- Ótimo isolamento termo acústico;
- Resistência ao fogo.

Cavalheiro (s. d.) apresenta como um dos fatores de economia as formas de madeira, que podem custar 12% do valor total em uma obra de concreto armado convencional e, na alvenaria estrutural, elas podem inexistir. O autor afirma que devido a possibilidade de executar várias etapas simultaneamente na alvenaria estrutural, o cronograma pode ser acelerado em até 50% se comparado com obras de concreto armado convencionais, as quais devem seguir um cronograma obrigatoriamente sequencial, diminuindo assim o tempo de execução da obra e os encargos financeiros.

Roman *et al* (s. d.) e Junior e Bavastri (2012) acrescentam, entre as vantagens da alvenaria estrutural, a simplificação nas instalações, que podem ser executadas sem rasgos nas paredes, possibilidade de utilização de revestimentos com menor espessura e facilidade de treinar a mão de obra.

Uma obra de alvenaria estrutural é mais limpa (sem entulho) e mais rápida que obras convencionais de concreto armado (faz-se um andar com quatro apartamentos num intervalo de seis a dez dias), a produtividade também é maior devido a padronização e repetição de serviços e a redução de aplicação e custos de revestimentos é significativa (FREIRE, 2007).

2.5. DESVANTAGENS DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Kalil (2007) classifica como principais desvantagens de construções em alvenaria estrutural a limitação no tamanho dos vãos livres; necessidade de juntas de dilatação a cada 15 metros; restrição do projeto arquitetônico; impossibilidade de modificação no projeto arquitetônico original e impossibilidade de remoção ou substituição das paredes estruturais.

Camacho (2006) concorda com alguns dos inconvenientes, citando a limitação apresentada pelo projeto arquitetônico pela concepção estrutural e impossibilidade de readaptação arquitetônica na edificação depois de finalizada.

Ramalho e Corrêa (2003) citam como fatores negativos da alvenaria estrutural a impossibilidade de realizar adaptações arquitetônicas, não sendo possível que a edificação se adapte as novas necessidades de seus usuários com o decorrer do tempo. Os autores acrescentam ainda que a interferência entre os projetos arquitetônico, estrutural e de instalações é considerada negativa devido as limitações quanto a realização de furos ou rasgos nas paredes.

Freire (2007) ressalta como desvantagem na execução de obras em alvenaria estrutural a necessidade de mão de obra bem qualificada e impossibilidade de mudanças no tipo de utilização do edifício (retrofit de utilização).

2.6. REFERÊNCIAS NORMATIVAS

A primeira norma direcionada ao dimensionamento de alvenaria estrutural foi desenvolvida na Inglaterra e publicada no ano de 1948, a CP 111 - “Structural Recommendations for Load Bearing Walls” era direcionada para cálculo de alvenaria de tijolos. Posteriormente foi desenvolvida a BSI 5628 - “Structural use for Masonry”, que utiliza do método semiprobabilístico no cálculo das estruturas de alvenaria (GOMES, 1994).

Nos EUA a primeira norma foi desenvolvida em 1953, mas apenas no ano de 1966 foi publicada uma norma menos empírica e mais científica. É deste período a norma “Building Code Requirements for Engineered Brick Masonry”, publicada pelo “Structural Clay Products Institute”.

Na década de 70, surgiu a primeira norma que tratava especificamente do cálculo da alvenaria de blocos de concreto que é a “Specification for the Design and Construction of Load-bearing Concrete Masonry Design”, sendo esta a norma que mais tem influenciado a evolução da alvenaria de blocos de concreto no Brasil. (ASSIS, 2001)

No Brasil a primeira norma surgiu entre os anos de 1988 e 1989, NBR 10837 (1989) “Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto – Procedimento” que era também utilizada para blocos cerâmicos.

Em 2011, a norma brasileira para cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto a NBR 10837 (1989) foi substituída pela NBR 15961 (2011) “Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto” na qual a principal alteração consistiu na introdução da segurança com base no método dos estados limites (JUNIOR e BAVASTRI, 2012).

A especificação e controle de componentes de alvenaria são padronizadas pelas prescrições das seguintes normas da ABNT:

- ABNT NBR 13276 (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.
- ABNT NBR 13277 (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água.

- ABNT NBR 13278 (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.
- ABNT NBR 13279 (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.
- ABNT NBR 13280 (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.
- ABNT NBR 5739 (2007) Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
- ABNT NBR 14321 (1999) Paredes de alvenaria estrutural - Determinação da resistência ao cisalhamento.
- ABNT NBR 14322 (1999) Paredes de alvenaria estrutural - Verificação da resistência à flexão simples ou à flexo-compressão.
- ABNT NBR 8949 (1985) Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples - Método de ensaio.

2.7. MATERIAIS

2.7.1. Blocos de concreto

Parsekian e Soares (2010) afirmam que a alvenaria é constituída de 80 a 95% de blocos, e esses têm diversas funções nas edificações em alvenaria estrutural, entre elas estão resistência à compressão; estabilidade e precisão dimensional; resistência ao fogo e a penetração de chuvas; isolamento térmico acústico e estético.

A maioria das construções em alvenaria estrutural no Brasil é feita com blocos de concreto. Esse método tem como vantagem o fato de que as normas brasileiras de cálculo e execução de alvenaria estrutural são apropriadas para

esse tipo de blocos, possivelmente por ter influência da tecnologia americana. (ACCETTI, 1998)

De acordo com a NBR 6136 (2014) as dimensões normatizadas de fabricação de blocos estruturais de concreto (Figura 5) estão apresentadas na Tabela 1.

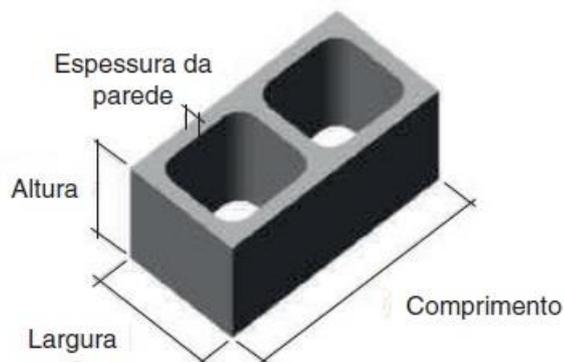


Figura 5 – Bloco de concreto

Fonte - ABNT NBR 6136 (2014)

Tabela 1 – Dimensões padronizadas para blocos de concreto

Designação	Nominal	20	15		12,5			10			7,5
	Módulo	M+20	M+15		M+12,5			M+10			M+7,5
	Amarração	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/2
	Linha	20x40	15x40	15x30	12,5x40	12,5x25	12,5x37,5	10x40	10x30	10x30	7,5x40
Largura (mm)		190	140	140	115	115	115	90	90	90	65
Altura (mm)		190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Comprimento (mm)	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	190	290	390
	Meio	190	190	140	190	115		190	90		190
	2/3						240			190	
	1/3						115			90	
	Amarração L		340								
	Amarração T		540	440		365	365		290	290	
	Compensador A	90	0		90			90			90
	Compensador B	40	40		40			40			40

Fonte – ABNT NBR 6136 (2014)

2.7.2. Argamassas

A argamassa na alvenaria estrutural tem como função garantir o apoio uniforme e a aderência de um bloco sobre o outro, formando assim os elementos que irão resistir às ações ao longo do tempo (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

Ramalho e Corrêa (2003), Parsekian e Soares (2010) e Camacho (2006) classificam como função da argamassa solidarizar os blocos estruturais, transmitir e uniformizar as tensões e prevenir a entrada de água e vento na edificação.

Parsekian e Soares (2010) citam que a argamassa ideal para alvenaria estrutural é composta por cal, cimento, areia e água, tendo como relação AGLOMERANTE (cimento+cal)/AGREGADO (areia) um valor próximo a 3.

Para melhoria de algumas propriedades da argamassa, atualmente é possível a utilização de aditivos, como aditivos pastificantes, incorporadores de ar e retentores de água. (THOMAZ & HELENE, 2000)

Parsekian e Soares (2010), afirmam que as argamassas de baixa resistência são capazes de se deformar quase sem fissuras. Porém, nas argamassas de alta resistência uma pequena deformação pode gerar fissuras.

De acordo com Parsekian, Hamid e Drysdale (2012), a resistência à compressão da argamassa deve ser obrigatoriamente maior do que 4 MPa e deve ficar entre 0,7 e 1,5 vezes a resistência do bloco, como indicado nas equações (1) e (2).

$$0,7 f_{bk} \leq f_a \leq 1,5 f_{bk} \quad (1)$$

$$f_a \geq 4 \text{ MPa} \quad (2)$$

Onde:

f_a = resistência da argamassa;

f_{bk} = resistência característica do bloco.

2.7.3. Graute

O graute consiste em um concreto fino (micro-concreto), formado de cimento, água, agregado miúdo e agregados graúdos de pequena dimensão (até 9,5mm), devendo apresentar como característica alta fluidez de modo a preencher adequadamente os vazios dos blocos onde serão lançados. (CAMACHO, 2006)

Tauil e Nesse (2010) reforçam que o graute é um concreto com agregados miúdos e relativamente fluido, utilizado eventualmente para preencher vazios de blocos especificados pelo projetista.

Parsekian e Soares (2010) apresentam como principais funções do graute aumentar a resistência em pontos localizados como verga, contraverga e coxim; aumentar a resistência de compressão da alvenaria e unir eventuais pontos de armaduras às paredes.

A NBR 15961-1 (2011) apresenta que o graute, além de aumentar a resistência das paredes, proporciona aderência com as armaduras de construção ou de cálculo, sendo elas ativas ou passivas. A resistência mínima do graute (f_g), apresentada pela norma é 15 MPa.

2.7.4. Armaduras

As armaduras utilizadas em construções de alvenaria estrutural são as mesmas utilizadas para estruturas convencionais de concreto armado, porém o que garante o trabalho em conjunto da armadura com os outros componentes da alvenaria é o graute e não o concreto (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

A armadura presente no projeto de alvenaria estrutural pode ser armadura de função construtiva ou de cálculo.

Para a função de cálculo, Araújo (2011) apresenta que a função básica da armadura é absorver os esforços de tração ou compressão atuantes na edificação, sendo que os mesmos são provenientes de ações horizontais,

como vento ou desaprumo. O autor conclui apresentando que a armadura também tem função construtiva, onde objetiva prevenir patologias.

Para Freire (2007) a armadura presente na alvenaria estrutural é responsável pela absorção dos esforços de tração e cisalhamento, além de servir como elemento de amarração e garantir o trabalho em conjunto da alvenaria.

Já na função construtiva, Tauil & Nesse (2010) apresentam que armaduras construtivas são utilizadas principalmente em vergas, contravergas e reforços construtivos em locais de aberturas, visando evitar patologias.

Uma diferente forma de utilização para armadura na alvenaria é apresentada por Malziane (2004), onde o autor apresenta a armadura como elemento de amarração das paredes, armadura conhecida como “grampo” (Figura 6). O autor afirma que, pelo motivo do grampo não redistribuir as tensões, o uso do grampo só é aconselhável em casos especiais e condições controladas.

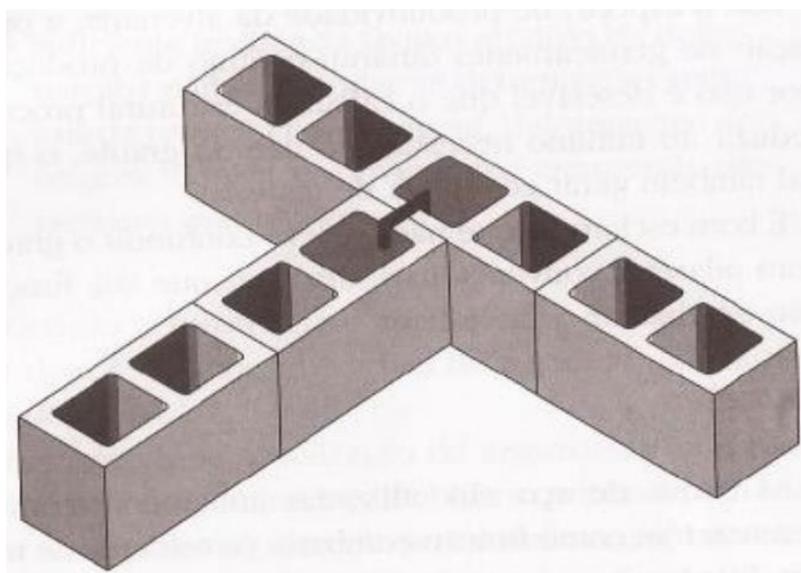


Figura 6 – Ilustração bloco de concreto
Fonte: Manzione (2004)

2.8. PROJETO EM ALVENARIA ESTRUTURAL

O projeto de alvenaria estrutural, pela sua importância no todo da edificação, é o desenho preciso de cada lâmina de parede que sustentará a edificação trabalhando em conjunto com outras em todos os sentidos e nas 3 direções ou coordenadas. (TAUIL E NESSE, 2010)

Kalil (2007) afirma que para realização de um bom projeto de alvenaria estrutural, o método construtivo não deve ser visto apenas como um conjunto de paredes superpostas que resistem ao peso próprio e cargas adicionais, e sim como um sistema construtivo racionalizado, visando funcionalidade, segurança e economia. O sistema de alvenaria estrutural deve ser projetado, calculado e construído conforme as normas pertinentes.

Parsekian e Soares (2010) coloca como informações fundamentais para um projeto de alvenaria estrutural a escolha dos tipos de blocos a serem utilizados, posicionamento e dimensões das aberturas, definição de paredes não estruturais, tipo de laje, escadas e altura dos pavimentos.

A forma da planta é um fator fundamental no comportamento da estrutura em relação à sua capacidade de resistir aos esforços de ações laterais, pois as plantas simétricas e com distribuição de paredes ao longo da direção principal aproximadas são menos suscetíveis a torções. (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012)

Lourenço (1999) ressalta que dois requisitos importantes na configuração do projeto de um edifício em alvenaria devem ser levados em conta para tornar a estrutura mais resistente, são eles a regularidade e continuidade física das paredes resistentes.

Parsekian, Hamid e Drysdale (2012) apresentam um estudo onde mostra a eficiência de várias plantas do envelope externo de prédios. Cada planta apresenta sua eficiência, essa que é definida por comparação do comprimento do perímetro externo planta com o comprimento da circunferência de um círculo de mesma área. A Figura 7 apresenta algumas formas e suas respectivas eficiências referentes ao envelope externo do prédio.

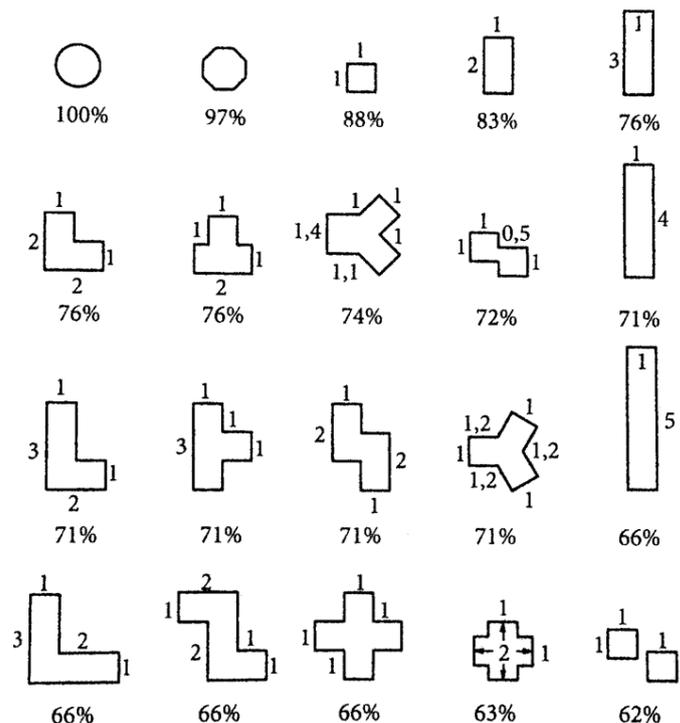


Figura 7 – Eficiência do envelope externo do prédio
Fonte: Parsekian, Hamid e Drysdale (2012)

2.9. DIMENSIONAMENTO

Parsekian e Soares (2010) citam que para o dimensionamento de edifícios de alvenaria estrutural é necessário ter conhecimento prévio de informações como forma do edifício, materiais a serem utilizados (tipos de blocos e resistência dos mesmos), carregamentos verticais atuantes na estrutura (peso próprio da estrutura, cargas acidentais atuantes, entre outros), ações horizontais (vento e desaprumo) e o modelo de cálculo que se deseja utilizar.

Para compreender o comportamento físico e mecânico da alvenaria estrutural, é necessário ter conhecimento das interações entre os materiais presentes nesse sistema construtivo, sendo essas interações entre bloco, argamassa, graute e armadura (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

Segundo a NBR 15961-1 (2011) os principais procedimentos para dimensionamento de alvenaria estrutural são:

- Dimensionamento a compressão simples;
- Dimensionamento a flexão simples;
- Dimensionamento ao cisalhamento;
- Dimensionamento a flexão composta.

A resistência estrutural das paredes pode ser aumentada conforme sua disposição dentro do projeto arquitetônico, mantendo a mesma área construída e mesmas áreas nos cômodos, apenas diferenciando o posicionamento das paredes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi realizado em duas etapas, sendo a primeira composta por um estudo bibliográfico e a segunda pelo dimensionamento e análise dos resultados de cinco projetos de alvenaria estrutural.

Na primeira etapa fez-se o estudo bibliográfico dos conceitos sobre alvenaria estrutural, seus elementos construtivos, definições de dimensionamento, apresentação das formas arquitetônicas e suas respectivas eficiências, levando em conta a sua disposição arquitetônica.

A segunda etapa teve como objetivo dimensionar e comparar cinco diferentes projetos arquitetônicos de edifícios residenciais utilizando blocos de concreto. Posteriormente, foi feita a análise relacionando a resistência dos blocos, da argamassa, área de aço e quantidade de pontos graute necessários em cada projeto.

3.2. CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho foram escolhidas cinco formas arquitetônicas indicadas na literatura (item 2.8), com diferentes eficiências. As cinco formas escolhidas estão indicadas na Figura 8.

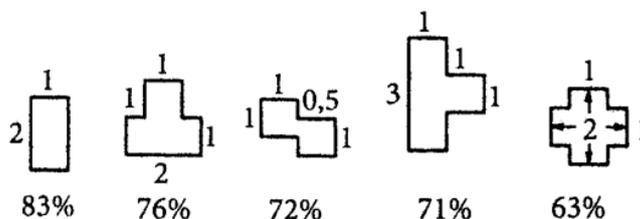


Figura 8 – Formas arquitetônicas a serem estudadas e suas eficiências
Fonte - Adaptado de Parsekian (2012)

A partir destas formas foram desenvolvidos os cinco projetos arquitetônicos, com áreas construídas e áreas de aberturas iguais.

Cada edifício possui oito pavimentos tipos com aproximadamente 100 m². Cada pavimento é composto por dois apartamentos com área aproximada de 37,5 m², e área comum de 25 m².

Para realização do dimensionamento foram desenvolvidas as plantas baixas dos pavimentos tipos, como apresentado no Apêndice A.

Da mesma forma, foi elaborada a modulação da primeira fiada de cada projeto, utilizando a família de blocos 14x39. Os projetos da modulação são apresentados no Apêndice B.

A seguir é apresentado o procedimento utilizado para realização do dimensionamento proposto, bem como explicação sobre cada etapa, com base na literatura.

3.3. LEVANTAMENTO DAS AÇÕES VERTICAIS

Para edifícios residenciais em alvenaria estrutural, as principais cargas verticais a serem consideradas são as cargas atuantes nas lajes (peso próprio, revestimentos e cargas acidentas) e o peso próprio das paredes.

A seguir são apresentadas considerações adotadas para levantamento das ações verticais.

3.3.1. Cargas das paredes

O carregamento por metro quadrado das paredes foi determinado pela equação (4):

$$G = \gamma_{\text{bloco}} \cdot t \quad (4)$$

Onde:

G = Carga permanente devido ao peso próprio da parede em KN/m²;

γ_{bloco} = Peso específico da alvenaria de blocos de concreto, ou seja, 14 KN/m³ NBR 15961-1 (2011);

t = Espessura do bloco, ou seja, 0,14m.

Assim obtém-se $G = 1,96$ KN/m²

Em função deste peso próprio por metro quadrado, considerando o pé direito de 2,80m, foram definidas algumas situações de carregamentos a serem utilizados no dimensionamento, sendo:

- Carregamento em paredes sem abertura;
- Carregamento no trecho das paredes com aberturas de janelas (Figura 9);
- Carregamento no trecho das paredes com aberturas de portas (Figura 10).

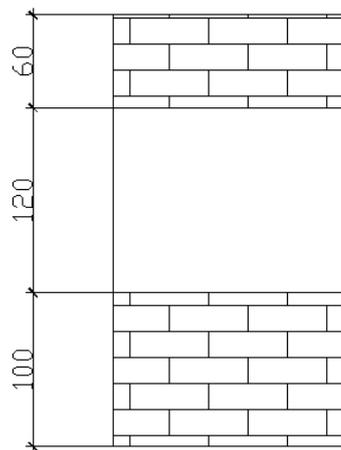


Figura 9 – Exemplo de carregamento em trechos com abertura de janela

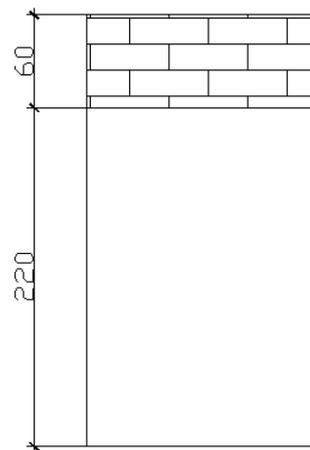


Figura 10 – Exemplo de carregamento em trechos com abertura de porta

A equação (5) apresenta o cálculo realizado para considerar as três situações identificadas.

$$G_{\text{parede}} = G \times (h_{\text{pd}} - h_{\text{abertura}}) \quad (5)$$

Onde:

G_{parede} = Carga da parede em KN/m;

G = Carga permanente devido ao peso próprio da parede em KN/m²;

h_{pd} = Altura do pé direito em metros;

$h_{abertura}$ = Altura da abertura em metros.

Para o levantamento dos carregamentos para cada situação, foram consideradas alturas de janelas e de portas de 1,00m e 2,20m, respectivamente.

Os resultados dos carregamentos utilizados no dimensionamento estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Levantamento dos carregamentos

Situação	G (KN/m ²)	h pé direito (m)	h abertura (m)	G Parede (KN/m)
Peso próprio da parede sem abertura	1,96	2,80	0,00	5,488
Peso próprio da parede com abertura de porta	1,96	2,80	2,20	1,176
Peso próprio da parede com abertura de janela	1,96	2,80	1,00	3,528

Para o dimensionamento, consideram-se apenas paredes sem aberturas. Desta forma, os trechos com aberturas são considerados não estruturais e seus carregamentos são descarregados nas paredes ao lado (50% para cada lado).

Como exemplo, apresenta-se o cálculo da parede X1A do Projeto 1, (Figura 11) para descrição do levantamento de cargas de todas as paredes dos projetos.

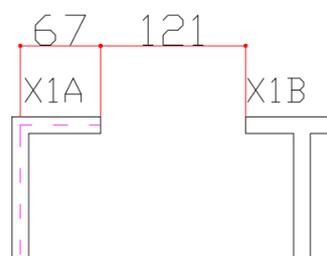


Figura 11 – Parede X1A (Projeto 1)

Para o cálculo dessa parede foram efetuados os seguintes levantamentos:

a) Peso próprio da parede

Considerou-se o carregamento da parede sem abertura (Tabela2) multiplicado pelo comprimento da parede: $5,488 \text{ (KN/m)} \times 0,67 \text{ (m)} = 3,68 \text{ (KN)}$

b) Peso próprio da abertura

A parede X1A recebe 50% do carregamento do trecho da janela de 121cm, sendo a outra metade é descarregada na parede X1B. Desta forma, considerou-se o carregamento do trecho com abertura de janela (Tabela 2), multiplicado pela metade do comprimento da janela: $3,528 \text{ (KN/m)} \times 0,605 \text{ (m)} = 2,13 \text{ (KN)}$

c) Peso próprio da parede com abertura

O peso próprio da parede X1A será o somatório do seu peso próprio e de parte do carregamento do trecho da janela: X1A: $3,68 \text{ (KN)} + 2,13 \text{ (KN)} = 5,81 \text{ (KN)}$

3.3.2. Cargas das lajes

Foram consideradas cargas permanentes nas lajes (peso próprio e revestimentos) e cargas acidentais.

a) Peso próprio da laje e revestimentos

O peso próprio da laje foi obtido através do peso específico do concreto, como mostra a equação (3) a seguir.

$$G_{\text{laje}} = h_{\text{laje}} \cdot \gamma_{\text{concreto}} \quad (3)$$

Onde:

G_{laje} = carga permanente referente ao peso próprio da laje em KN/m^2 ;

h_{laje} = espessura da laje em metros (adotada como 0,09m para este trabalho);

γ_{concreto} = peso específico do concreto 25 KN/m^3 .

Desta forma, para o peso próprio das lajes deste projeto, foi utilizado o valor de $G_{laje} = 2,25 \text{ KN/m}^2$

Para a carga de revestimentos foi adotado o valor de 1 KN/m^2 , onde o valor foi determinado a partir de combinações de carga a partir da NBR 6120.

b) Carga acidental

Para as cargas acidentais foi padronizado o valor de $1,5 \text{ K/m}^2$ em todos os ambientes, considerando uma edificação residencial.

3.3.3. Transmissão de esforços atuantes na laje para paredes estruturais

A transmissão dos esforços verticais atuantes nas lajes, para cada parede de apoio, foi feita de acordo com a área de influência de cada laje em relação a cada parede em que a mesma é apoiada.

As áreas foram determinadas a partir de ângulos definidos em função do tipo de restrição imposta aos apoios das lajes, conforme apresentado na Figura 13. Os ângulos a serem utilizados são (PARSEKIAN, HAMID E DRYSDALE 2012):

- $\alpha = 45^\circ$ entre dois apoios iguais;
- $\alpha = 60^\circ$ a partir da borda engastada quando a outra é apoiada;
- $\alpha = 90^\circ$ a partir de qualquer apoio se a borda vizinha for livre.

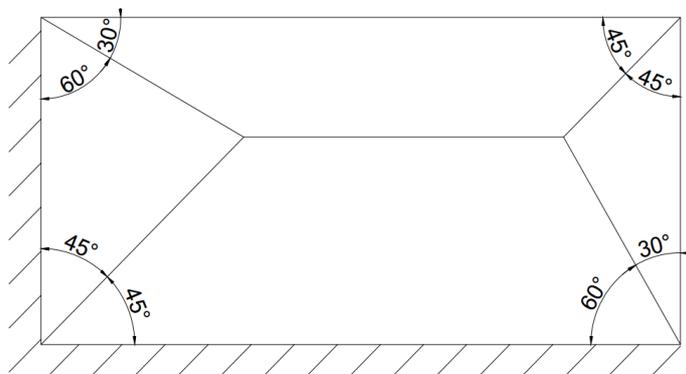


Figura 12 - Definição dos ângulos para área de influência da laje nas paredes em que é apoiada.

No Apêndice C são apresentadas as áreas de influência de cada projeto.

Para exemplificar o procedimento utilizado para distribuição de cargas da laje em todas as paredes dos projetos, apresenta-se a distribuição de cargas na parede X1A do Projeto 1 (Figura 13).

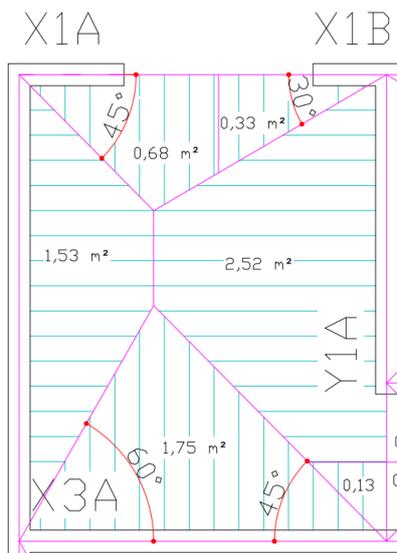


Figura 13 – Ângulos de influência utilizados no Modelo 1

Vale destacar que como o trecho das aberturas não é considerado estrutural, a área da laje equivalente a este trecho é distribuída para as paredes ao lado.

Para o cálculo das cargas da laje sobre a parede X1A foram efetuados os seguintes levantamentos:

a) Carga permanente

Foi considerada a área da laje até a metade do trecho da abertura multiplicada pelo peso próprio da laje (2,25 KN/m²) e dos revestimentos (1 KN/m²): $0,68 \text{ (m}^2\text{)} \times 3,25 \text{ (KN/m}^2\text{)} = 2,21 \text{ (KN)}$

b) Carga acidental

Foi considerada a área da laje até a metade do trecho da abertura multiplicada pela carga acidental: $0,68 \text{ (m}^2\text{)} \times 1,5 \text{ (KN/m}^2\text{)} = 1,02 \text{ (KN)}$

3.3.4. Distribuição do carregamento vertical entre as paredes

A distribuição do carregamento vertical entre as paredes do pavimento foi efetuada considerando-se o procedimento Grupos de Paredes Isoladas.

Neste procedimento considera-se que as paredes interagem entre si através de grupos. Os grupos são formados e limitados pelas aberturas de portas e janelas, como demonstra a Figura 14. As cargas em cada grupo são uniformizadas entre as paredes do grupo. Porém, segundo Ramalho e Corrêa (2003), não existe a interação entre grupos.

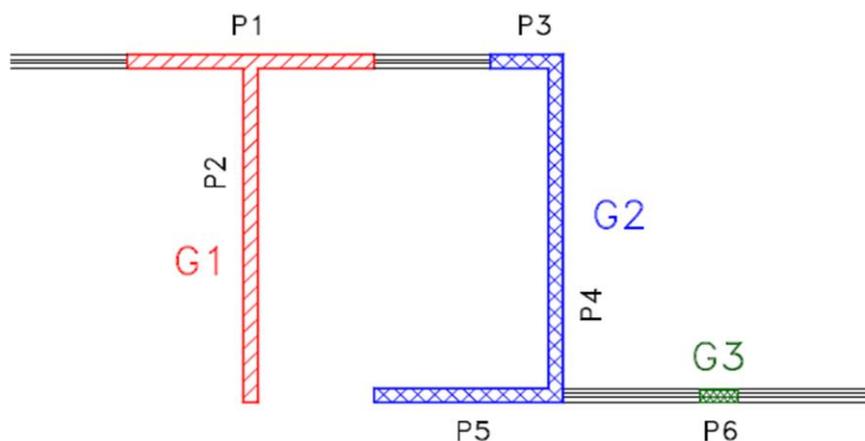


Figura 14: Exemplos de grupos de paredes isoladas
Fonte: Ramalho & Corrêa (2003)

Para Ramalho & Corrêa (2003) a distribuição do carregamento vertical feita através de grupo de paredes isoladas é um procedimento simples para ser implantado. Isto porque para encontrar a carga em um grupo de paredes, basta que todas as cargas a serem aplicadas em qualquer uma das paredes do grupo sejam somadas, e distribuídas no comprimento total dessas paredes. É o método mais indicado para distribuição do carregamento vertical.

Os grupos de paredes dos projetos estudados estão apresentados no Apêndice D.

Para exemplificar a distribuição de cargas entre as paredes de um mesmo grupo, é apresentado o procedimento para o primeiro grupo de paredes do Projeto 1, composto pelas paredes X1A, X3A e Y2A (Figura 15).

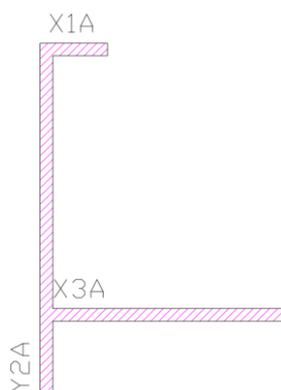


Figura 15 – Grupo 1 de paredes do Projeto 1

A Tabela 3 apresenta as cargas individuais em cada parede do Grupo 1 da Figura 15, levantadas conforme procedimento apresentado nos itens anteriores. As últimas colunas se referem as cargas uniformizadas no grupo, obtidas pela divisão do somatório das cargas das paredes, pelo comprimento total de paredes.

Tabela 3 – Exemplo de distribuição de cargas verticais entre as paredes de um grupo.

Paredes	Comprimento (m)	Carga permanente (Peso próprio, de trechos de aberturas e cargas da laje) (KN)	Carga acidental (KN)	Carga permanente do Grupo 1 (kN/m)	Carga acidental do Grupo 1 (kN/m)
X1A	0,67	8,02	1,02		
X3A	2,55	29,70	6,99		
Y2A	2,95	25,34	3,24	10,22	1,82
Total	6,17	63,06	11,25		

3.3.5. Ações horizontais

As ações horizontais consideradas se referem a ação do vento e desaprumo, como descrito a seguir.

3.3.5.1. Ação do vento

O vento é uma ação de caráter bastante aleatório em relação a sua intensidade, duração e sentido. A ação do vento foi determinada de acordo com as prescrições da NBR 6123 (1988) – “Forças devidas ao vento em edificações”.

Para as ações horizontais foi considerada a força de arrasto do vento nas direções x e y.

A força de arrasto do vento foi calculada de acordo com a ABNT NBR 6123 (1988), sendo admitidas as seguintes considerações:

- Velocidade básica do vento: $V_0 = 47,8$ (m/s), obtido do mapa de isopletas da NRB 6123 (1988), para a cidade de Toledo, PR;
- Terreno plano (fator topográfico $S_1 = 1,00$);
- Cidades pequenas, zona urbanizada;
- Edificação residencial (fator estatísticos $S_3 = 1,00$);
- Vento de baixa turbulência.

O fator S_2 foi calculado para cada pavimento, como indicado na Tabela

4.

Tabela 4 – Fatores S_2 para o Projeto 1

Pavimento	Z(m)	S2
1	2,80	0,74
2	5,60	0,80
3	8,40	0,84
4	11,20	0,87
5	14,00	0,90
6	16,80	0,92
7	19,60	0,93
8	22,40	0,95

3.3.5.2. Desaprumo

O desaprumo é uma ação decorrente de imperfeições construtivas, onde é considerado o não perfeito assentamento de um bloco sobre outro, ocasionando assim um desvio geométrico de construção.

A inclinação do desaprumo é dada pelo ângulo θ_a (em radianos), como apresentado na Figura 16.

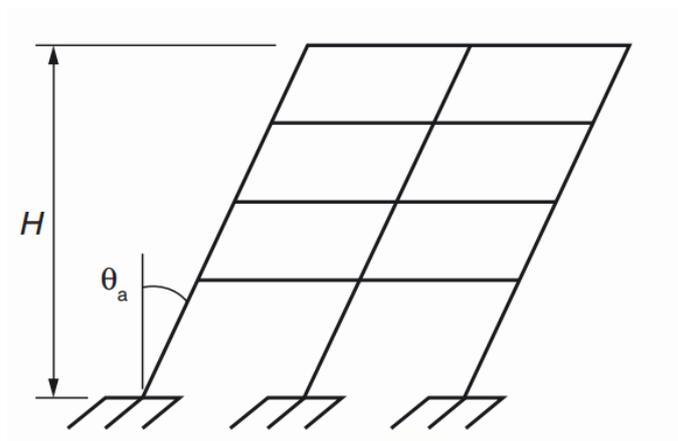


Figura 16 – Desaprumo
Fonte - NBR 6118 (2014)

O desaprumo gera uma transmissão de cargas de forma excêntrica, causando um momento na estrutura. Em edificações baixas o cálculo do desaprumo se torna mais importante, devido as ações do vento serem pequenas, fazendo com que o desaprumo possa ser a ação horizontal predominante nesses tipos de edificações (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012)

A determinação de θ_a é dada pela equação (9), conforme NBR 15961-1 (2011)

$$\theta_a = 1 / (100 H^{0.5}) \quad (9)$$

Onde:

θ_a = inclinação do desaprumo (rad);

H = altura da edificação (m).

Como o ângulo de inclinação do desaprumo depende apenas da altura da edificação e, para o presente trabalho, os cinco projetos estudados possuem a mesma altura (22,4 metros), o desaprumo será o mesmo para todos os casos.

$$\begin{aligned}\theta_a &= 1 / (100 H^{0,5}) \\ \theta_a &= 1 / (100 \cdot 22,4^{0,5}) \\ \theta_a &= 0,0021 \text{ (rad)}\end{aligned}$$

Utilizando a NBR 15961-1 (2011), a força gerada pelo desaprumo é definida a partir da equação (11):

$$F = \Delta p \theta_a \quad (11)$$

Onde:

F = força devido ao efeito de desaprumo no pavimento (KN);

ΔP = carregamento total no pavimento (permanente e acidental) (KN);

θ_a = inclinação do desaprumo (rad).

Desta forma, a ação horizontal atuante em um pavimento será o somatório da força do vento e da força de desaprumo.

3.3.6. Distribuição das ações horizontais

Para efeito de cálculo, as ações horizontais foram consideradas atuando em duas direções, sendo uma a direção principal (direção X) e outra a direção secundária (direção Y), como apresenta a Figura 17 para o Projeto 1.

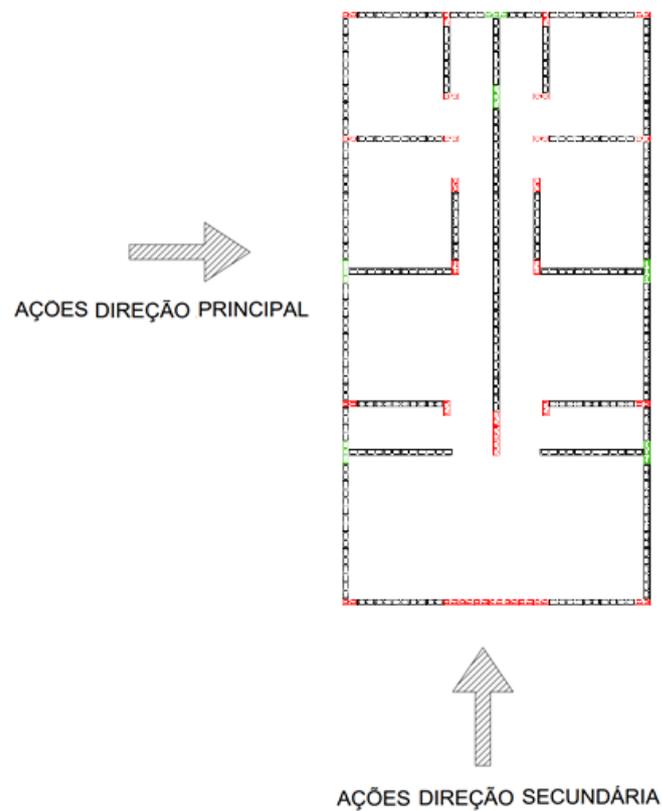


Figura 17 – Direções de atuação das ações horizontais

A distribuição das ações horizontais entre as paredes do pavimento é efetuada através da rigidez de cada uma. De acordo com a NBR 15961 (2011), é possível majorar as inércias das paredes de contraventamento, a partir da consideração dos flanges, que são as paredes que interceptam perpendicularmente as paredes de contraventamento. Mas para que isto possa ser considerado, é necessário que esta interceptação apresente amarração direta entre as paredes. A Figura 18 apresenta os requisitos para consideração dos flanges.

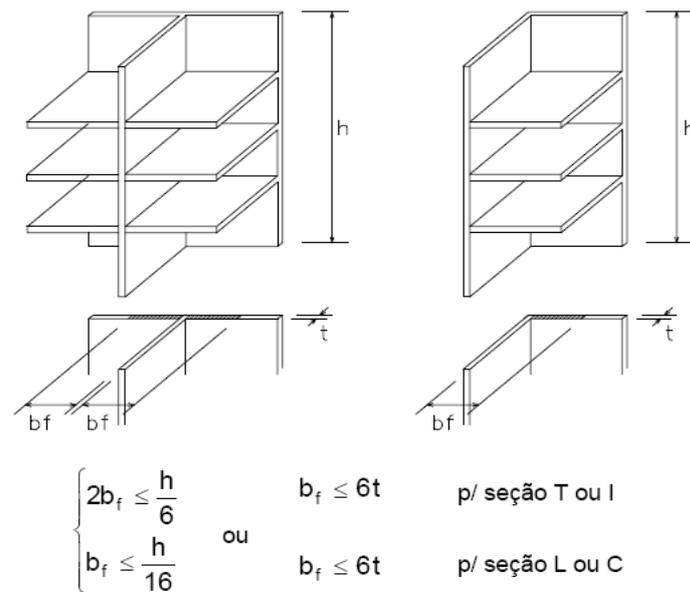


Figura 18 - Definição dos flanges.
Fonte: ABNT NBR 15961-1 (2011).

Desta forma, para as paredes dos projetos considerados, como as mesmas possuem a espessura de 14 cm, as abas ou flanges considerados foram de 84 centímetros (6x14).

A distribuição das ações horizontais do pavimento para cada parede foi realizada através da equação (12), para as paredes com eixo principal em X, e equação (13) para as paredes com eixo principal em Y (PARSEKIAN E SOARES 2010).

$$F_{xi} = F_X (I_{Yi} / \sum I_{Yi}) \quad (12)$$

$$F_{yi} = F_Y (I_{Xi} / \sum I_{Xi}) \quad (13)$$

F_{xi} = Força na parede i no sentido X;

F_{yi} = Força na parede i no sentido Y;

F_X = Força devido as ações horizontais atuantes no sentido X;

F_Y = Força devido as ações horizontais atuantes no sentido Y;

I_{Yi} = Inércia em Y da parede;

I_{Xi} = Inércia em X da parede.

Os termos $(I_{Yi} / \sum I_{Yi})$ da equação (12) e $(I_{Xi} / \sum I_{Xi})$ da equação (13), representam a parcela de rigidez (r/R) da parede em relação a rigidez de todas as paredes do pavimento na direção considerada. Desta forma, multiplicando a força atuante no pavimento por essa rigidez, fica definida a parcela que cada parede recebe.

As inércias de todas as paredes foram determinadas com auxílio do *software* AutoCad, assim com as distâncias do centro de gravidade da parede até suas extremidades. A Figura 19 apresenta as propriedades da parede X1A do Projeto 1, para exemplificar o processo de levantamento de dados de todas as paredes.

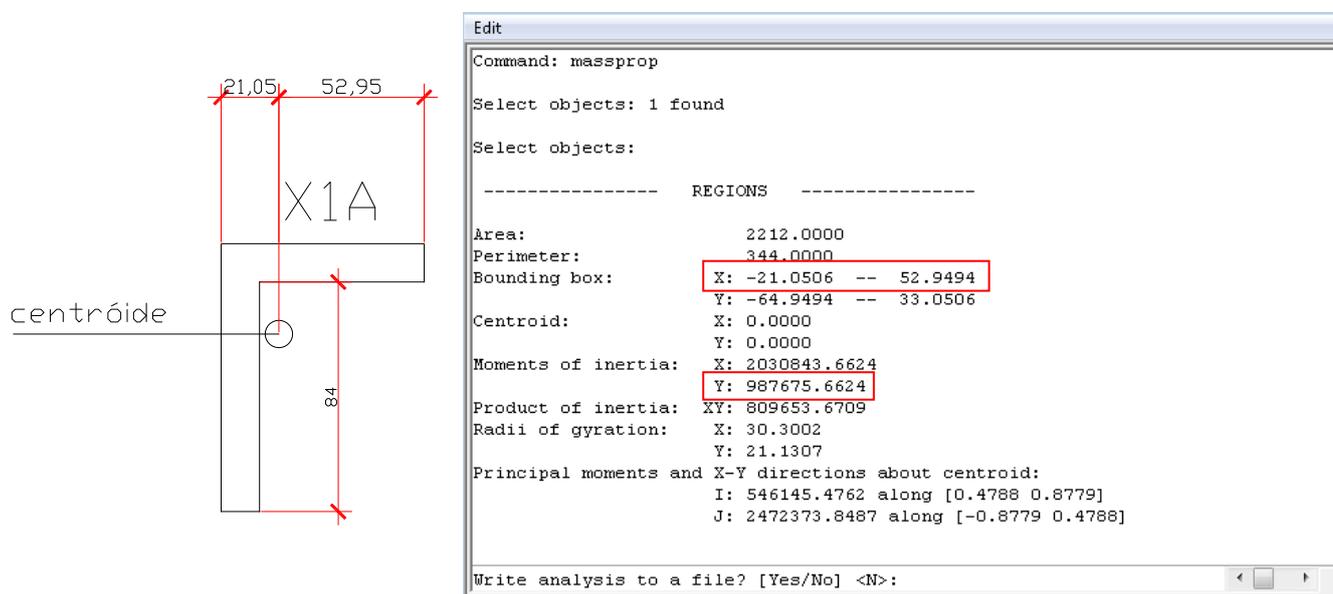


Figura 19 – Propriedades da Parede X1A do Projeto 1.

3.4. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

Para o dimensionamento de edifícios de alvenaria estrutural devem ser considerados esforços referentes à compressão simples, esforços de cisalhamento e flexocompressão. A seguir é apresentada uma descrição do processo de cálculo utilizado, de acordo com a NBR 15961-1 (2011)

3.4.1. Dimensionamento à compressão simples

Os esforços de compressão simples gerados pelas cargas verticais são os esforços predominantes na alvenaria estrutural. Para o dimensionamento à compressão simples, a partir de alguns parâmetros de projeto, foi definida a resistência característica do prisma (f_{pk}) pela equação (14).

$$\gamma_f \times N_K \leq [(0,7 \times f_{pk}) / \gamma_m] \times \{1 - [h_{ef} / (40 \times t_{ef})]\} \times A \quad (14)$$

Onde:

γ_f = coeficiente de ponderação das ações;

N_K = carga total atuante na parede (peso próprio + carga acidental) (KN);

f_{pk} = resistência do prisma característico (KN/m²);

γ_m = coeficiente de ponderação das resistências;

h_{ef} = altura efetiva da parede (m);

t_{ef} = espessura efetiva da parede (m);

A = área de atuação da carga (m²).

Para combinações normais de alvenaria ou graute, a NBR15961-1 (2011) define o coeficiente γ_m como 2,0. Já o coeficiente γ_f foi adotado como 1,4, para majoração do carregamento na combinação de ações.

Após a determinação da resistência característica do prisma (f_{pk}) (Equação 14), foi obtida a resistência à compressão do bloco de concreto (f_{bk}), através das eficiências (relação entre f_{bk} / f_{pk}) como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Relação f_{bk} / f_{pk}

f_{bk} (Mpa)	f_{bk} / f_{pk} (Mpa)	f_{pk}
4,5	0,8	3,6
6	0,8	4,8
8	0,8	6,4
10	0,75	7,5
12	0,75	9

Fonte – Parsekian e Soares (2010)

A utilização de graute nos furos dos blocos permite aumentar a resistência à compressão. De acordo com Parsekian e Soares (2010), para os casos em que é aplicado graute em um furo do bloco, é possível aumentar a resistência do prisma em 30%. Já quando for aplicado graute em todos os furos do bloco, constata-se um aumento de 60% da resistência à compressão do prisma.

A Tabela 6 apresenta os valores de resistência do prisma com graute, utilizados no dimensionamento.

Tabela 6 – Valores f_{pk} utilizando graute

f_{bk} (Mpa)	f_{pk} (graute em todos os furos do bloco)	f_{pk} (graute em um furo do bloco)
4,5	5,76	4,68
6	7,68	6,24
8	10,24	8,32
10	12	9,75
12	14,4	11,7

Fonte – Parsekian e Soares (2010)

Conforme a ABNT NBR 15961-1 (2011), para resistência média da compressão da argamassa (f_a), considerou-se a parcela de 70% da resistência a compressão do bloco (f_{bk}), como apresentado na equação (16).

$$f_a = 0,7 f_{bk} \quad (16)$$

3.4.2. Dimensionamento ao cisalhamento

A norma brasileira NBR 15961-1 (2011) admite que as tensões de cisalhamento (τ) seguem o método de Coulomb (equação 15). Assim, existe uma parcela inicial de resistência ao cisalhamento devido à aderência, e essa resistência aumenta em função do nível de pré-compressão.

$$\tau = \tau_0 + \mu \sigma \quad (15)$$

Sendo que:

τ = tensão de cisalhamento (MPa);

τ_0 = parcela inicial devido à aderência (MPa);

μ = coeficiente de atrito ($\mu = 0,5$);

σ = tensão de pré-compressão (MPa).

A tensão resistente ao cisalhamento (f_{vk}) foi dada em função da tensão de pré-compressão e da resistência média de compressão da argamassa. Primeiramente, analisou-se a resistência média de compressão da argamassa, e posteriormente dimensionou-se a resistência ao cisalhamento, de acordo com a Tabela 7.

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

Fonte – NBR 15961-1 (2011)

Por fim, a verificação do cisalhamento foi feita segundo a equação (17).

$$[(V_k \times \gamma_f) / (t \times L)] \leq f_{vk} / \gamma_m \quad (17)$$

Onde:

V_k = Força de cisalhamento atuante na parede (KN);

γ_f = coeficiente de ponderação das ações;

t = espessura do bloco (m);

L = comprimento da parede (m);

f_{vk} = tensão resistente ao cisalhamento (KN/m²);

γ_m = coeficiente de ponderação das resistências.

Para o caso de alvenarias com seção T, I ou outra forma de flange, apenas a área da alma foi considerada na parcela “t . L” na verificação do cisalhamento.

3.4.3. Dimensionamento à flexocompressão

Como as edificações estão sujeitas a carregamentos horizontais e verticais, há sempre esforços de compressão, cisalhamento e flexão atuando nas mesmas.

Para o caso de alvenaria estrutural com baixas taxas de armaduras ou não armadas, devem ser feitas as verificações relativas as tensões máximas de tração, de compressão e comparar esses valores com os valores aos quais a estrutura resiste, verificando assim a necessidade ou não de pontos de reforços com utilização de armaduras e graute.

Os conceitos utilizados para os cálculos estão apresentados na NBR 15961-1 (2011), que serve de suporte para todo o processo de dimensionamento de projetos em alvenaria estrutural com blocos de concreto. Porém, Parsekian e Soares (2010) apresentam algumas simplificações da norma, as quais são apresentadas a seguir.

3.4.3.1. Tensões máximas de tração

As tensões máximas de tração foram verificadas a partir da equação (18):

$$\gamma_{fq} \times Q_k + \gamma_{fg} \times G_k \leq f_{tk} / \gamma_m \quad (18)$$

Onde:

γ_{fq} = coeficiente de ponderação para cargas acidentais;

Q_k = tensão atuante devido aos carregamentos acidentais (KN/m²);

γ_{fg} = coeficiente de ponderação para cargas permanentes;

G_k = tensão atuante devido ao peso próprio (KN/m²);

f_{tk} = valor característicos de resistência à tração na flexão (KN/m²);

γ_m = coeficiente de ponderação das resistências.

Os valores característicos de resistência à tração na flexão (f_{tk}) foram determinados em função da resistência média de compressão da argamassa, como apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores característicos de resistência à tração na flexão.

Direção da tração	Resistência média de compressão da argamassa (MPa)		
	1,5 a 3,4	3,5 a 7,0	acima de 7,0
Normal à fiada	0,10	0,20	0,25
Paralela à fiada	0,20	0,40	0,50

Fonte – NBR 15961-1 (2011)

Como o peso próprio e a carga acidental são ações favoráveis ao esforço de tração, para obter o pior caso de carregamento essas cargas devem ser minoradas. A carga do vento, portanto, foi considerada como sendo desfavorável, necessitando assim ser majorada, com a finalidade de aumentar a tração máxima sofrida pela edificação. Foram utilizados os coeficientes de ponderação retirados da NBR 15961-1 (2011):

$$Y_{fq, \text{ acidental}} = 0,0$$

$$Y_{fg} = 0,9$$

$$Y_{fq, \text{ vento}} = 1,4$$

O cálculo da área de aço (A_s) necessária em cada parede foi definido pela equação (19).

$$A_s = f_{td} / (0,5f_{yd}) \quad (19)$$

Sendo:

A_s = área de aço (mm²);

f_{td} = força de cálculo devido a tração (N);

f_{yd} = resistência de cálculo ao escoamento do aço (MPa).

Após a determinação da área de aço, foi verificada a taxa mínima de aço a ser utilizada, através da equação (20).

$$A_{s, \text{ min}} = 0,1\% \times L \times t \quad (20)$$

Onde:

$A_{s,min}$ = área de aço mínima (cm²);

L = comprimento da parede (cm);

t = espessura do bloco (cm).

3.4.3.2. Tensões máximas de compressão

Para o dimensionamento da flexocompressão considerando as tensões máximas de compressão, dois fatores foram levados em consideração:

- 1) Se a resistência à compressão na flexão é maior que a resistência na compressão simples;
- 2) Se não existe a probabilidade de duas ações variáveis ocorrerem, ao mesmo tempo, com seus valores máximos.

Levando em conta esses fatores, foram verificadas as seguintes situações (equação 21 e equação 22):

$$[(\gamma_{fq} \cdot \Psi_0 \cdot Q_{acidental} + \gamma_{fg} \cdot G)/R] + [\gamma_{fq} \cdot Q_{vento}/1,5] \leq f_k/\gamma_m \quad (21)$$

$$[(\gamma_{fq} \cdot Q_{acidental} + \gamma_{fg} \cdot G)/R] + [\gamma_{fq} \cdot \Psi_0 \cdot Q_{vento}/1,5] \leq f_k/\gamma_m \quad (22)$$

Onde:

γ_{fq} = coeficiente de ponderação para cargas acidentais;

Ψ_0 = coeficiente de ponderação para combinação de cargas

Q = tensão atuante devido aos carregamentos acidentais (KN/m²);

γ_{fg} = coeficiente de ponderação para cargas permanentes;

G = tensão atuante devido ao peso próprio (KN/m²);

R = Fator de redução em função da esbeltez;

f_k = resistência característica do bloco(KN/m²);

γ_m = coeficiente de ponderação das resistências.

O valor do fator de redução em função da esbeltez (R) foi obtido pela seguinte equação (23):

$$R = 1 - (h/40t)^3 \quad (23)$$

Onde:

h = altura do pé direito livre (m)

t = espessura do bloco (m)

Para obter a pior situação de cálculo, os carregamentos favoráveis à situação foram minorados e, os desfavoráveis, majorados. Assim foram definidos os seguintes coeficientes de ponderações, de acordo com a NBR 15961-1 (2011):

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

$$\Psi_0 = 0,5 \text{ (para carga acidental) ou } 0,6 \text{ (para ações do vento)}$$

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

$$\gamma_m = 2$$

3.5. Análise dos dados

Após o dimensionamento, foi efetuada a análise comparativa entre os resultados para cada projeto, com o objetivo de identificar as diferenças em termos de resistência dos blocos, área de aço, quantidade de graute e resistência da argamassa.

4. RESULTADOS

4.1. Carregamento Vertical

Após o levantamento de cargas verticais dos cinco projetos, foram obtidos os carregamentos por pavimento indicados na Tabela 9.

Tabela 9 – Cargas verticais por pavimento.

Grupo de paredes em ordem decrescente	Projeto 1	Projeto 2	Projeto 3	Projeto 4	Projeto 5
1	14,203	15,655	20,888	14,364	14,314
2	14,203	15,655	20,888	14,340	14,314
3	13,903	14,711	14,376	14,340	14,153
4	13,903	14,711	14,376	13,774	14,096
5	13,732	13,137	13,940	13,062	12,082
6	13,732	13,137	12,350	12,823	12,082
7	12,966	12,778	11,968	12,073	11,855
8	12,966	12,778	11,968	11,260	11,855
9	12,520	11,836	11,463	11,260	10,481
10	12,044	10,894	10,492	11,051	9,659
11	12,044	10,894	10,492	11,035	9,659
Diferença % entre a maior e menor carga dos grupos	15,20	30,41	49,77	23,18	32,52

É possível constatar que o Projeto 3 apresentou as maiores variações de cargas, enquanto que o Projeto 1 apresentou as cargas mais uniformizadas.

Essa uniformização de cargas está associada com os grupos de paredes. Ou seja, o Projeto 1 conta com grupos de comprimentos de paredes semelhantes, resultando numa distribuição semelhante de cargas nos grupos. Já o Projeto 3 apresenta grupos com pequenos comprimentos de paredes, bem como grupos com grandes comprimentos, em função de sua forma arquitetônica.

Os projetos 2, 4 e 5 se assemelham nos comprimentos de paredes, e, portanto, possuem as cargas uniformizadas mais semelhantes.

O Apêndice E apresenta as cargas levantadas em cada parede dos projetos, assim como as cargas em cada grupo por pavimento.

As cargas apresentadas na Tabela 9 foram utilizadas para o dimensionamento do oitavo pavimento. Para os demais pavimentos, as cargas foram multiplicadas pelo número de pavimentos acima do nível considerado.

4.2. Ações Horizontais

A ação do vento foi levantada considerando os parâmetros apresentados no item 3.3.5.1. Desta forma, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados para força de arrasto do vento por pavimento

Pavimento (altura do pé direito)	Projeto 1		Projeto 2		Projeto 3		Projeto 4		Projeto 5	
	Senti do X	Senti do Y								
	Fa (KN)									
1 (Z=2,80m)	14,95	40,65	30,07	30,58	37,20	24,53	24,76	41,46	30,33	30,45
2 (Z=5,60m)	17,66	48,00	35,51	36,11	43,94	28,97	29,25	48,96	35,82	35,96
3 (Z=8,40m)	19,46	52,91	39,14	39,80	48,43	31,93	32,23	53,97	39,48	39,63
4 (Z=11,20m)	20,85	56,69	41,94	42,65	51,89	34,21	34,54	57,83	42,31	42,46
5 (Z=14,00m)	22,00	59,81	44,25	45,00	54,74	36,09	36,44	61,01	44,63	44,80
6 (Z=16,80m)	22,99	62,49	46,22	47,01	57,19	37,70	38,07	63,74	46,63	46,80
7 (Z=19,60m)	23,85	64,84	47,97	48,78	59,35	39,13	39,50	66,14	48,39	48,57
8 (Z=22,40m)	24,63	66,95	49,53	50,37	61,28	40,40	40,79	68,29	49,96	50,15
Dimensão perpendicular ao vento (m)	7,14	14,09	11,44	11,54	14,04	10,34	9,99	15,04	11,54	11,49

É possível constatar que:

- Os Projeto 2 e 5 apresentam valores semelhantes de forças do vento no sentido x e y;
- O Projeto 1, por ser retangular, apresenta a maior diferença entre as forças no sentido x e y, sendo 24,63 e 66,95, respectivamente;
- Os Projetos 3 e 4 apresentam diferenças semelhantes das forças do vento, nas duas direções.

Os cálculos detalhados da ação do vento são apresentados no Apêndice F.

A força do desaprumo foi calculada a partir do ângulo de desaprumo ($\theta_a = 0,0021\text{rad}$) calculado no item 3.3.5.2.

A Tabela 11 apresenta os valores da força de desaprumo obtida para cada projeto.

Tabela 11 – Força de desaprumo para cada projeto

Projetos	Carga total no Pavimento (KN)	Ângulo de Desaprumo (rad)	Força de Desaprumo (KN)
Projeto 1	906,689	0,002	1,916
Projeto 2	918,518	0,002	1,941
Projeto 3	917,554	0,002	1,939
Projeto 4	888,365	0,002	1,877
Projeto 5	857,482	0,002	1,812

As Tabelas 12 e 13 apresentam as ações horizontais e momentos em cada pavimento para o Projeto 1 nas direções X e Y, respectivamente.

Tabela 12 – Esforços devido às ações horizontais na direção X

Pavimento	F vento	F desaprumo	F total	F acumul.	M (KN.m)
8	24,629	1,916	26,545	26,545	74,327
7	23,853	1,916	25,768	52,314	220,805
6	22,986	1,916	24,902	77,216	437,008
5	22,002	1,916	23,918	101,134	720,183
4	20,855	1,916	22,771	123,904	1067,114
3	19,464	1,916	21,379	145,284	1473,908
2	17,659	1,916	19,575	164,858	1935,511
1	14,952	1,916	16,868	181,726	2444,344

Tabela 13 – Esforços devido às ações horizontais na direção Y

Pavimento	F vento	F desaprumo	F total	F acumul.	M (KN.m)
8	66,954	1,916	68,870	68,870	192,835
7	64,842	1,916	66,758	135,627	572,592
6	62,487	1,916	64,403	200,030	1132,676
5	59,812	1,916	61,728	261,758	1865,598
4	56,693	1,916	58,609	320,366	2762,624
3	52,911	1,916	54,826	375,193	3813,163
2	48,004	1,916	49,920	425,113	5003,479
1	40,648	1,916	42,563	467,676	6312,972

Os esforços (força e momento) em cada pavimento foram distribuídos para as paredes do pavimento a partir da rigidez de cada parede, calculada a partir da inércia de cada painel.

A Tabela 14 apresenta a distribuição da força de 26,545 KN e o momento de 74,327KN.m no oitavo pavimento do Projeto 1 (apresentado na Tabela 12).

Tabela 14 – Esforços devido às ações horizontais na direção Y no oitavo pavimento do Projeto 1

Parede	Inércia em y (cm ⁴)	$I_{yi} / \sum I_{yi}$	Força (KN)	Momento (KN.m)
X1A	987675,66	0,0019021	0,05049	0,14137
X1B	547047,81	0,0010535	0,02797	0,07830
X1C	202916	0,0003908	0,01037	0,02905
X1D	547047,81	0,0010535	0,02797	0,07830
X1E	987675,66	0,0019021	0,05049	0,14137
X2A	988947,41	0,0019045	0,05056	0,14156
X2B	988947,41	0,0019045	0,05056	0,14156
X3A	45934439,85	0,0884609	2,34821	6,57499
X3B	45934439,85	0,0884609	2,34821	6,57499
X4A	77036707,95	0,1483579	3,93819	11,02693
X4B	77036707,95	0,1483579	3,93819	11,02693
X5A	37880818,58	0,0729512	1,93650	5,42221
X5B	37880818,58	0,0729512	1,93650	5,42221
X6A	34017624,9	0,0655114	1,73901	4,86924
X6B	34017624,9	0,0655114	1,73901	4,86924
X7A	62136659,53	0,1196632	3,17648	8,89416
X7B	62136659,53	0,1196632	3,17648	8,89416
Soma	519262759,4		26,545	74,327

Os esforços nos demais pavimentos foram obtidos pela multiplicação dos valores da Tabela 14 pelo número de pavimentos acima do nível considerado.

O Apêndice G apresenta este cálculo para os demais projetos.

A seguir, são analisados os resultados obtidos no dimensionamento, em função das ações verticais e horizontais.

4.3. Dimensionamento à compressão

Utilizando a Equação 14, apresentada anteriormente no procedimento de cálculo, foram obtidos os valores de resistência de prisma para cada grupo de paredes de cada projeto. A Tabela 15 apresenta os valores para os grupos de paredes do Projeto 1.

Tabela 15 – fpk e fbk(MPa) necessário em cada grupo de paredes para cada pavimento do Projeto 1

Grupo	Paredes	Pavimento							
		8	7	6	5	4	3	2	1
1	X1A X3A Y2A	0,39	0,77	1,16	1,55	1,94	2,32	2,71	3,10
2	X1B X2A Y1A	0,45	0,89	1,34	1,79	2,23	2,68	3,13	3,57
3	X1C Y6A	0,40	0,80	1,21	1,61	2,01	2,41	2,82	3,22
4	X1D X2B Y1B	0,45	0,89	1,34	1,79	2,23	2,68	3,13	3,57
5	X1E X3B Y2B	0,39	0,77	1,16	1,55	1,94	2,32	2,71	3,10
6	X4A Y3A Y4A	0,44	0,88	1,32	1,77	2,21	2,65	3,09	3,53
7	X4B Y3B Y4B	0,44	0,88	1,32	1,77	2,21	2,65	3,09	3,53
8	X5A Y5A Y5B	0,46	0,91	1,37	1,83	2,28	2,74	3,20	3,65
9	X5B Y5C Y5D	0,46	0,91	1,37	1,83	2,28	2,74	3,20	3,65
10	X6A X7A Y7A	0,42	0,83	1,25	1,67	2,08	2,50	2,92	3,33
11	X6B X7B Y7B	0,42	0,83	1,25	1,67	2,08	2,50	2,92	3,33
Resistência do bloco (fbk) (MPa)		4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6,0

Como um bloco de 4,5 MPa apresenta resistência de prisma de 3,6 MPa, em função da sua eficiência (apresentada na Tabela 5), e que os valores destacados na Tabela 15, para os grupos 8 e 9 do primeiro pavimento, são superiores a essa resistência, se faz necessária a utilização de blocos de 6,0 MPa (fpk= 4,8MPa) nesse pavimento. Para o Projeto 1, as resistências dos blocos necessárias foram de 6,0 MPa no primeiro pavimento e 4,5 MPa nos demais.

Vale destacar que o Projeto 1 foi o que apresentou as cargas mais uniformizadas, sem grandes variações de um grupo para o outro, em função de sua forma arquitetônica, com grupos de paredes com comprimentos semelhantes.

A Tabela 16 apresenta os valores de prisma e de blocos para os grupos de paredes do Projeto 2.

Tabela 16 – fpk e fbk (MPa) necessário em cada grupo de paredes para cada pavimento do Projeto 2

Grupo	Paredes	Pavimento								
		8	7	6	5	4	3	2	1	
1	X1A X2A Y1A	0,41	0,82	1,23	1,64	2,05	2,46	2,87	3,29	
2	X1B X2B Y1B	0,41	0,82	1,23	1,64	2,05	2,46	2,87	3,29	
3	X3B Y2A Y2B	0,47	0,95	1,42	1,89	2,36	2,84	3,31	3,78	
4	X3C Y2C Y2D	0,47	0,95	1,42	1,89	2,36	2,84	3,31	3,78	
5	X3A X4A X7A Y4A Y3A	0,35	0,70	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80	
6	X3D X4B X7G Y4G Y4A	0,35	0,70	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80	
7	X5A X7B Y4B	0,50	1,01	1,51	2,01	2,52	3,02	3,52	4,03	
8	X5B X7F Y4F	0,50	1,01	1,51	2,01	2,52	3,02	3,52	4,03	
9	X6A X7C Y4C	0,42	0,84	1,27	1,69	2,11	2,53	2,96	3,38	
10	X6C X7E Y4E	0,42	0,84	1,27	1,69	2,11	2,53	2,96	3,38	
11	X6B X7D Y4D	0,38	0,76	1,14	1,52	1,90	2,28	2,66	3,04	
Resistência do bloco (fbk) (MPa)		4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6,0	

Assim como no Projeto 1, para o Projeto 2, observa-se que o primeiro pavimento deve ser executado com blocos de 6 MPa (fpk= 4,8MPa), em função de quatro grupos de paredes (3, 4, 7 e 8) necessitarem de resistências superiores as obtidas com o bloco de 4,5MPa.

A Tabela 17 apresenta os valores de prisma e de blocos para os grupos de paredes do Projeto 3.

Tabela 17 – fpk e fbk(MPa) necessário em cada grupo de paredes para cada pavimento do Projeto 3

Grupo	Paredes	Pavimento								
		8	7	6	5	4	3	2	1	
1	X1A X3A Y2A Y2B	0,34	0,67	1,01	1,35	1,69	2,02	2,36	2,70	
2	X1B Y1A	0,46	0,92	1,39	1,85	2,31	2,77	3,23	3,70	
3	X4A X7A Y4A Y3A	0,38	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	
4	X1C Y1B	0,67	1,34	2,01	2,69	3,36	4,03	4,70	5,37	
5	X1D X2B Y2C	0,37	0,74	1,11	1,47	1,84	2,21	2,58	2,95	
6	X2A X7B X8A Y4B Y5A	0,40	0,79	1,19	1,59	1,98	2,38	2,78	3,18	
7	X2C X7C Y4C	0,45	0,90	1,34	1,79	2,24	2,69	3,14	3,58	
8	X2D X5A Y3B Y3C	0,38	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	
9	X8B Y5B	0,67	1,34	2,01	2,69	3,36	4,03	4,70	5,37	
10	X8C Y5C	0,46	0,92	1,39	1,85	2,31	2,77	3,23	3,70	
11	X6A X8D Y4D Y5C	0,49	0,99	1,48	1,98	2,47	2,97	3,46	3,95	
Resistência do bloco (fbk) (MPa)		4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6,0	6,0	8,0	

O Projeto 3 foi o que mais apresentou variação nas cargas verticais dos grupos, devido à sua forma arquitetônica. Em função disso, observa-se que o primeiro pavimento deve ser executado com blocos de 8MPa ($f_{pk} = 6,4$ MPa).

Diferente dos Projetos 1 e 2, para o segundo e terceiro pavimento não é possível a utilização de blocos com 4,5 MPa, visto que os resultados apresentados pelos grupos 4 e 9 fazem necessária a utilização de blocos com 6,0 MPa.

A necessidade de utilização de blocos com maior resistência à compressão se dá pela má distribuição das cargas, onde um grupo de paredes com um comprimento pequeno recebe as solicitações de esforços de uma área de laje grande, como exemplificado pelo Grupo 4, na Figura 20.

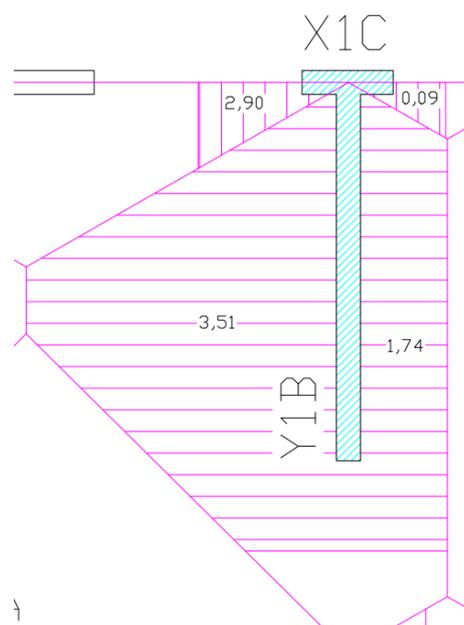


Figura 20 – Áreas de lajes que descarregam suas cargas no Grupo 4

Os demais pavimentos do Projeto 3 podem ser executados com blocos de 4,5 MPa.

A Tabela 18 apresenta os valores de prisma e de blocos para os grupos de paredes do Projeto 4.

Tabela 18 – fpk e fbk (MPa) necessário em cada grupo de paredes para cada pavimento do Projeto 4

Grupo	Paredes	Pavimento							
		8	7	6	5	4	3	2	1
1	X1A X2A Y1A Y1B	0,36	0,72	1,09	1,45	1,81	2,17	2,53	2,90
2	X1B Y1C	0,46	0,92	1,38	1,84	2,30	2,77	3,23	3,69
3	X1C X3B X5A Y2C Y3A	0,36	0,71	1,07	1,42	1,78	2,13	2,49	2,84
4	X3A Y2A Y2B	0,46	0,92	1,38	1,85	2,31	2,77	3,23	3,69
5	X6A Y4A Y4B	0,44	0,89	1,33	1,77	2,21	2,66	3,10	3,54
6	X4A Y3B Y3C	0,42	0,84	1,26	1,68	2,10	2,52	2,94	3,36
7	X8A Y5A Y5B	0,35	0,71	1,06	1,42	1,77	2,13	2,48	2,84
8	X9A Y6A Y6B	0,41	0,82	1,24	1,65	2,06	2,47	2,88	3,30
9	X7A X9B X11C Y6C Y8C	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
10	X10A X11A Y8A Y7A	0,36	0,72	1,09	1,45	1,81	2,17	2,53	2,90
11	X11B Y8B	0,46	0,92	1,38	1,84	2,30	2,77	3,23	3,69
Resistência do bloco (fbk) (MPa)		4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6,0

O Projeto 4 apresenta resultados semelhantes aos projetos 1 e 2, onde é necessário utilizar blocos de 6,0 MPa para o primeiro pavimento e 4,5 MPa em todos os superiores.

Para o Projeto 5, os resultados de resistência de prisma e de bloco são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – fpk e fbk (MPa) necessário em cada grupo de paredes para cada pavimento do Projeto 5

Grupo	Paredes	Pavimento							
		8	7	6	5	4	3	2	1
1	X1A X2C X3A Y1B	0,45	0,91	1,36	1,82	2,27	2,73	3,18	3,64
2	X2B Y1A	0,46	0,92	1,38	1,84	2,30	2,76	3,22	3,68
3	X2A X4A Y2A Y2B Y2C	0,31	0,62	0,93	1,24	1,55	1,86	2,17	2,48
4	X5A X6A Y5A Y3A Y4A	0,39	0,78	1,16	1,55	1,94	2,33	2,72	3,11
5	X6B X7A Y6A	0,38	0,76	1,14	1,52	1,91	2,29	2,67	3,05
6	X3B X7B Y6B	0,34	0,67	1,01	1,35	1,68	2,02	2,36	2,69
7	X1B X2D X3C Y1C	0,45	0,91	1,36	1,81	2,27	2,72	3,17	3,62
8	X2E Y1D	0,46	0,92	1,38	1,84	2,30	2,76	3,22	3,68
9	X2F X4B Y2D Y2E Y2F	0,31	0,62	0,93	1,24	1,55	1,86	2,17	2,48
10	X5B X6D Y4B Y3B Y5B	0,39	0,78	1,16	1,55	1,94	2,33	2,72	3,11
11	X6C X7C Y6C	0,38	0,76	1,14	1,52	1,91	2,29	2,67	3,05
Resistência do bloco (fbk) (MPa)		4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6,0

Pode ser constatado que quatro grupos de paredes necessitam de resistências de prisma acima de 3,6MPa no primeiro pavimento. Em função disso, deve-se utilizar bloco de 6MPa neste pavimento e 4,5 MPa nos demais.

A Tabela 20 apresenta um resumo de resistências necessárias em cada pavimento dos projetos analisados.

Tabela 20 –fbk (MPa) necessário em cada pavimento

Projetos	Resistência do bloco (fbk) (MPa) em cada pavimento							
	8	7	6	5	4	3	2	1
1	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6,0
2	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6,0
3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6,0	6,0	8,0
4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6,0
5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6,0

Desta forma, pela análise dos resultados apresentados na Tabela 20 é possível constatar que com relação a análise da compressão, os Projetos 1, 4 e 5 são semelhantes, ou seja, podem ser executados com blocos de 6,0MPa no primeiro pavimento e 4,5MPa nos demais. Os três possuem poucos grupos com resultado que requerem f_{pk} acima de 3,6, porém próximos desse valor. Esses projetos são os que apresentaram comprimentos de paredes mais homogêneos.

Já o Projeto 2, que também necessita de blocos com 6MPa apenas no primeiro pavimento e 4,5MPa nos demais, apresenta valores mais altos de f_{pk} , quando comparado aos projetos 1, 4 e 5.

E o Projeto 3 é o que precisa de blocos com maior resistência à compressão, devido a sua forma arquitetônica, que resultou em grupos com comprimentos mais variados.

4.4. Dimensionamento ao cisalhamento

O cálculo do dimensionamento ao cisalhamento para o primeiro pavimento de cada projeto é apresentado no Apêndice H.

Através desta análise foi possível determinar a resistência da argamassa em cada pavimento.

A resistência da argamassa (f_a) deve estar entre 0,7 f_{bk} e 1,5 f_{bk} , sendo a resistência mínima 4,0MPa. Desta forma, inicialmente foi efetuado o cálculo considerando a resistência da argamassa mínima de 4MPa para os pavimentos com resistência de blocos de 4,5MPa. Para os pavimentos com blocos de 6MPa foi utilizada a resistência de 4,2MPa.

Desta forma, a Tabela 21 apresenta as paredes cujas verificações da análise do cisalhamento não foram satisfeitas.

Tabela 21 – Paredes com verificações não satisfeitas na análise do cisalhamento

Projetos	Pavimentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Y6A							
2								
3	X3A X4A X5A X6A							
4	Y8C Y2C							
5								

Como exemplo apresenta-se o cálculo da parede Y8C, do Projeto 4 do primeiro pavimento.

Dados da parede Y8C:

$$V_k = 102,73 \text{KN}$$

$$G_k = 80,98 \text{KN/m}$$

$$\gamma_f = 1,40 \text{ (NBR 15961-1:2011)}$$

$$t = 0,14 \text{ m}$$

$$L = 4,49 \text{ m}$$

$$f_a = 4 \text{MPa}$$

$$\gamma_m = 2,0 \text{ (NBR 15961-1:2011)}$$

De acordo com a Tabela 7 a tensão resistente ao cisalhamento (f_{vk}) para a faixa de argamassa entre 3,5 a 7,0 MPa é dada por: $0,15 + 0,5 \sigma < 1,4$

Desta forma, a análise do cisalhamento, para a parede Y8C resultaria em:

$$[(V_k \cdot \gamma_f) / (t \cdot L)] \leq f_{vk} / \gamma_m$$

$$(102,73 \times 1,40) / (0,14 \times 4,49) \leq 150 + \{0,5 \times [(0,9 \times 80,98) / 0,14]\} / 2,0$$

$$228,80 \geq 205,15$$

Como a verificação não foi satisfeita, as alternativas seriam aumentar a resistência da argamassa ou utilização de telas como reforço estrutural para as paredes.

Como o objetivo deste trabalho é comparar os resultados para cada forma analisada, foi optado por não alterar a resistência da argamassa.

Desta forma, após o dimensionamento ao cisalhamento, as resistências de argamassa necessárias para os cinco projetos estão apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22 – Resistência de argamassa - f_a (MPa) em cada pavimento

Projeto	fa (MPa) em cada pavimento								Observações
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Projeto 1	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	Utilizar armadura de cisalhamento em uma parede até o sexto pavimento
Projeto 2	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
Projeto 3	5,6	4,2	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	Utilizar armadura de cisalhamento em duas paredes até o segundo pavimento
Projeto 4	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	Utilizar armadura de cisalhamento em duas paredes até o quarto pavimento
Projeto 5	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	

Através da análise do cisalhamento é possível constatar que os Projetos 2 e 5 necessitam de resistência mínima de argamassa. Os dois projetos apresentam grupos de paredes semelhantes, e, portanto, com distribuição das ações horizontais de maneira uniforme.

No Projeto 1, a parede Y6A é a parede com maior rigidez ($I_{Y1} / \sum I_{Yi}$) do pavimento (0,70). Ou seja, a parcela de força horizontal absorvida por esta parede foi de 70% da força total no pavimento, justificando a alta tensão de cisalhamento, e, conseqüentemente, necessidade de aumento da resistência da argamassa ou disposição de armadura de cisalhamento.

Da mesma forma, as paredes do Projeto 4 (Y2C e Y8C) são as de maior rigidez do pavimento (0,216 cada uma). Assim como no Projeto 3, as quatro paredes são as de maior rigidez no pavimento (X3A e X6A = 0,116 cada uma e X4A e X5A = 0,121 cada uma).

4.5. Dimensionamento à Flexocompressão

Na análise da Flexocompressão foi estudada a necessidade de aço, para o efeito de tração na flexão, bem como necessidade de graute, para aumento da resistência à compressão, devido ao esforço de compressão na flexão.

4.5.1. Análise da tração na flexocompressão

A armadura é o material que possui a função de absorver os esforços de tração da estrutura.

Para dimensionar a armadura necessária, foram levantados os esforços de tração na flexocompressão e, nas paredes necessárias, foi calculada a área de aço.

As tensões máximas de tração em cada parede foram definidas através da Equação 18, exibida no procedimento de cálculo desse trabalho.

Para os coeficientes γ_{fq} , γ_{fg} e γ_m foram utilizados os valores de 1,4; 0,9 e 2,0 definidos pela NBR 15961-1 (2011). Para a resistência média de compressão da argamassa foi utilizado o valor de 0,2 MPa conforme a Tabela 8 apresentada no trabalho.

Para exemplificação desse método de cálculo é exibida a Parede X3A do primeiro pavimento do Projeto 1, a qual apresenta os seguintes dados.

- Tensão atuante devido ao peso próprio (G_k) = $81,77 \text{ (KN/m)} / 0,14 \text{ (m)} = 584,06 \text{ (KN/m}^2\text{)}$

- Tensão atuante devido ao carregamento acidental do vento (Q_k) (vento esquerdo) = $(216,23\text{KN.m} \times 0,86\text{m}) / 0,46\text{m}^4 = 405,81$ (KN/m²)
- Tensão atuante devido ao carregamento acidental do vento (Q_k) (vento direito) = $(216,23\text{KN.m} \times 1,83\text{m}) / 0,46\text{m}^4 = 860,46$ (KN/m²)

A partir desses dados, foram calculadas as tensões máximas e mínimas de tração em cada extremidade de parede. Desta forma, as tensões máximas e mínimas de tração para a parede X3A do primeiro pavimento do Projeto 1 são:

- Máximo bordo esquerdo = $1,4 \times 405,81 + 0,9 \times (-584,06) \leq 100$
Máximo bordo esquerdo = $42,49$ (KN/m²) ≤ 100 (KN/m²)
- Máximo bordo direito = $1,4 \times 860,46 + 0,9 \times (-584,06) \leq 100$
Máximo bordo direito = $678,99$ (KN/m²) ≤ 100 (KN/m²)
- Mínimo bordo esquerdo = $1,4 \times (-405,81) + 0,9 \times (-584,06) \leq 25$
Mínimo bordo esquerdo = $-1092,79$ (KN/m²) ≤ 100 (KN/m²)
- Mínimo bordo direito = $1,4 \times (-860,46) + 0,9 \times (-584,06) \leq 100$
Mínimo bordo direito = $-1730,29$ (KN/m²) ≤ 100 (KN/m²)

A partir dos valores máximos e mínimos para as tensões de tração, é possível elaborar a distribuição de tensões na parede, a partir de um diagrama combinado, como apresentado na Figura 21.

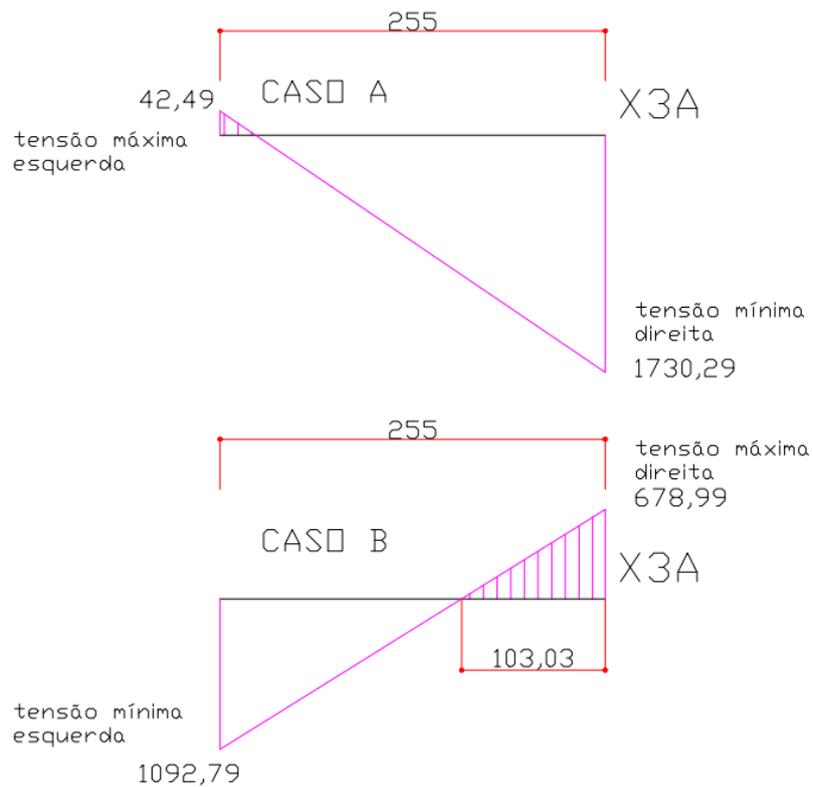


Figura 21 – Distribuição de tensões na Parede X3A do primeiro pavimento no Projeto 1

A partir da análise da Figura 21 é possível constatar que existem tensões de tração nas duas extremidades da parede X3A. Porém, apenas no bordo direito o valor está acima do admissível, que é 100 KN/m^2 ($678,99 \text{ KN/m}^2$), sendo necessária a utilização de aço.

A área de aço foi calculada para o trecho indicado na Figura 21, ou seja, de 103,03 centímetros, determinado por semelhança de triângulos.

A área de aço a ser utilizada nesse trecho é definida pela Equação 19 e deve ser maior ou igual a área de aço mínima (Equação 20). Desta forma, foi calculada a força resultante de tração, bem como área de aço como indicado a seguir:

$$f_{td} = [678,99(\text{KN/m}^2) \times 1,0303(\text{m}) \times 0,14(\text{m})]/2 = 48,97 \text{ (KN)}$$

$$f_{yd} = (50 \text{ (KN/cm}^2) / 1,15) = 43,48 \text{ KN/cm}^2$$

$$A_s = 48,97 / (0,5 \times 43,48)$$

$$A_s = 2,25 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,\text{mín}} = 0,1\% \times L \times t$$

$$A_{s,\text{mín}} = 0,1\% \times 255 \times 14$$

$$A_{s,\text{mín}} = 3,57 \text{ cm}^2$$

Desta forma, para a parede X3A exemplificada é necessário utilizar 3,57cm² de aço, em 103,03 cm do bordo direito da parede.

Esta análise foi efetuada para todas as paredes, de todos os pavimentos dos cinco projetos. A Tabela 23 apresenta os resultados para cada pavimento.

Tabela 23 – Área de aço (cm²) em cada pavimento

Projetos	Pavimento								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	72,16	62,46	43,85	26,61	19,29	14,76	0	0	239,12
2	160,99	133,10	107,74	70,41	34,01	27,40	20,71	0	554,34
3	224,68	178,37	137,55	91,68	53,44	42,90	32,16	6,78	767,54
4	94,09	74,32	60,85	54,50	43,99	22,68	6,29	0	256,72
5	94,39	76,77	57,97	39,23	33,31	12,99	6,50	0	321,15

Os Projetos 1 e 4 necessitam a menor área de aço dentre as cinco formas estudadas. Sua divisão arquitetônica tem bastante influência sobre esse resultado, devido a distribuição dos carregamentos uniformes. Em algumas paredes, onde há o esforço de tração, o mesmo é baixo e solicita um pequeno comprimento da parede.

O Projeto 3 é o mais solicitado pelos esforços de tração dentre as formas estudadas. Foi constatado que várias paredes precisam de aço.

4.5.2. Análise da compressão na flexocompressão

Os pontos de graute ficam definidos através do dimensionamento à compressão devido aos esforços da flexocompressão. Dessa forma, para definir quais as paredes que necessitam de graute, foram utilizadas as Equações 21 e 22. Porém, foram utilizadas as simplificações das equações, apresentadas por Parsekian e Soares (2010), com os coeficientes de ponderação das ações.

$$i: (1,4 \cdot Q_{k,ac} + 1,4 \cdot G_k) / (R \cdot (0,7 \cdot f_{pk}) / 2) + (0,84 \cdot Q_{k,vento}) / (1,5 \cdot (0,7 \cdot f_{pk}) / 2) \leq 1$$

$$ii: (0,7 \cdot Q_{k,ac} + 1,4 \cdot G_k) / (R \cdot (0,7 \cdot F_{pk}) / 2) + (1,4 \cdot Q_{k,vento}) / (1,5 \cdot (0,7 \cdot F_{pk}) / 2) \leq 1$$

O termo 1KN/m² da equação se refere a utilização de bloco sem graute. Caso as verificações não sejam satisfeitas, é necessário grautear as extremidades da parede. Neste sentido, o termo 1 da equação passa a ser 1,30KN/m² nos casos em que a parede recebe um graute a cada dois furos (aumento de 30% na resistência do prisma).

Da mesma forma, o termo 1 da equação passa a ser 1,60KN/m² nos casos em que a parede recebe graute em todos os furos (aumento de 60% na resistência do prisma). Caso as verificações não sejam satisfeitas nem com 1,3 e 1,6 na equação, é necessário aumentar a resistência do bloco.

Para exemplificar, a Tabela 24 apresenta os resultados para os bordos esquerdos e direitos de cada parede do primeiro pavimento do Projeto 1.

Tabela 24 – Resultados para pontos de graute no primeiro pavimento do Projeto 1

Parede	Verificações no bordo esquerdo das paredes		Verificações no bordo direito das paredes		verificação	Comprimento das paredes a grautar (m)		Bordo Esquerdo	Bordo Direito
	i esquerda	ii esquerda	i direita	ii direita		Bordo Esquerdo	Bordo Direito		
X1A	0,6799	0,6529	0,7299	0,7364	OK				
X1B	0,8131	0,7979	0,7964	0,7701	OK				
X1C	0,7148	0,6888	0,7148	0,6888	OK				
X1D	0,7964	0,7701	0,8131	0,7979	OK				
X1E	0,7299	0,7364	0,6799	0,6529	OK				
X2A	0,7622	0,7130	0,7845	0,7503	OK				
X2B	0,7845	0,7503	0,7622	0,7130	OK				
X3A	0,7821	0,8233	0,9337	1,0759	NÃO OK		0,2903		Graute a cada dois furos
X3B	0,9337	1,0759	0,7821	0,8233	NÃO OK	0,2903		Graute a cada dois furos	
X4A	0,9163	0,9721	0,9808	1,0796	NÃO OK		0,3045		Graute em todos os furos
X4B	0,9808	1,0796	0,9163	0,9721	NÃO OK	0,3045		Graute em todos os furos	
X5A	0,9182	0,9577	0,9981	1,0909	NÃO OK		0,3477		Graute em todos os furos
X5B	0,9981	1,0909	0,9182	0,9577	NÃO OK	0,3477		Graute em todos os furos	
X6A	0,8409	0,8756	0,9503	1,0579	NÃO OK		0,2215		Graute a cada dois furos
X6B	0,9503	1,0579	0,8409	0,8756	NÃO OK	0,2215		Graute a cada dois furos	
X7A	0,9005	0,9748	1,0006	1,1417	NÃO OK		0,5420		Graute em todos os furos
X7B	1,0006	1,1417	0,9005	0,9748	NÃO OK	0,5420		Graute em todos os furos	
Y1A	0,8362	0,8365	0,8628	0,8807	OK				
Y1B	0,8628	0,8807	0,8362	0,8365	OK				
Y2A	0,8342	0,9101	0,8424	0,9237	OK				
Y2B	0,8424	0,9237	0,8342	0,9101	OK				
Y3A	0,8786	0,9092	0,8218	0,8146	OK				
Y3B	0,8218	0,8146	0,8786	0,9092	OK				
Y4A	0,8428	0,8496	0,8428	0,8496	OK				
Y4B	0,8428	0,8496	0,8428	0,8496	OK				
Y5A	0,8314	0,8131	0,8063	0,7713	OK				
Y5B	0,7725	0,7149	0,7865	0,7383	OK				
Y5C	0,7865	0,7383	0,7725	0,7149	OK				
Y5D	0,8063	0,7713	0,8314	0,8131	OK				
Y6A	1,1723	1,4514	1,2098	1,5138	NÃO OK	2,7523	3,1325	Graute em todos os furos	Graute em todos os furos
Y7A	0,8907	0,9586	0,8848	0,9487	OK				
Y7B	0,8848	0,9487	0,8907	0,9586	OK				

Os resultados para o primeiro pavimento dos Projetos 2, 3, 4 e 5 estão no Apêndice I.

Para as paredes nas quais a verificação não foi satisfeita, por semelhança de triângulo (assim como na análise da tração), foram

determinados os comprimentos das paredes a serem grauteadas, em cada extremidade.

A Tabela 25 apresenta um resumo com a quantidade total de pontos de graute utilizados em cada pavimento e a soma total em cada projeto estudado.

Tabela 25 – Quantidade de pontos de graute em cada pavimento

Projetos	Pontos de graute em cada pavimento								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	43	84	30	2	0	0	0	0	158
2	71	145	52	28	4	0	0	0	300
3	53	75	40	35	11	0	0	0	214
4	62	101	41	5	0	0	0	0	209
5	50	86	27	2	0	0	0	0	165

Para o Projeto 1 foram constatadas as menores quantidades de pontos de grauteamento no primeiro pavimento, que é o mais solicitado, e também na quantidade total de pontos de graute. Isso devido à distribuição das cargas de forma mais homogênea entre os grupos de paredes.

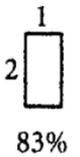
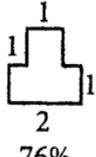
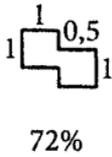
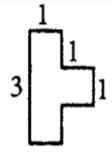
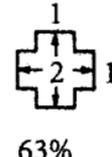
No Projeto 3 verifica-se que a quantidade de graute é de 214 pontos. Porém, vale destacar que este resultado é função da utilização de blocos com maiores resistências nos primeiros pavimentos.

Os Projetos 1, 2, 4 e 5 têm a quantidade de graute aumentada no segundo pavimento, em relação ao primeiro. Isso acontece devido a redução da resistência do bloco, de 6 para 4,5MPa.

4.5.3. Síntese dos resultados

Após as análises apresentados anteriormente, é apresentada uma síntese dos resultados no Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo dos resultados para cada forma arquitetônica estudada

Projetos	Resistência de blocos (MPa)	Área de aço (cm ²)	Pontos de graute	Resistência da argamassa
 <p>83%</p>	6,0 MPa no primeiro pavimento e 4,5 MPa nos demais	239,12	158	4,2 MPa no primeiro pavimento e 4,0 MPa nos demais. Armadura de cisalhamento em uma parede até o sexto pavimento.
 <p>76%</p>	8,0 MPa no primeiro pavimento, 6,0 MPa no segundo e 4,5 MPa nos demais	554,34	300	4,2 MPa no primeiro pavimento e 4,0 MPa nos demais.
 <p>72%</p>	6,0 MPa no primeiro e segundo pavimento e 4,5 MPa nos demais	767,54	214	5,6 MPa no primeiro pavimento, 4,2 MPa no segundo e terceiro pavimento e 4,0 MPa nos demais. Armadura de cisalhamento em quatro paredes até o segundo pavimento.
 <p>71%</p>	6,0 MPa no primeiro pavimento e 4,5 MPa nos demais	356,72	209	4,0 MPa em todos os pavimentos. Armadura de cisalhamento em duas paredes até o quarto pavimento.
 <p>63%</p>	6,0 MPa no primeiro pavimento e 4,5 MPa nos demais	321,15	165	4,2 MPa no primeiro pavimento e 4,0 MPa nos demais.

A partir dos cálculos e análises realizadas para as cinco diferentes disposições arquitetônicas apresentadas neste trabalho, pôde-se estabelecer as seguintes considerações:

- As formas arquitetônicas dos Projetos 1 e 4 são semelhantes quanto aos resultados de resistência de bloco e argamassa. Apresentam variação na área de aço e quantidade de graute.
- O Projeto 1 é o que apresenta a menor área de aço das formas analisadas. A forma arquitetônica desse projeto é a de maior eficiência de aproveitamento das áreas (83%).
- O Projeto 3 é o que apresenta os piores resultados de dimensionamento. Apresenta as maiores resistências de bloco no primeiro, segundo e terceiro pavimento. O dimensionamento resultou nas maiores áreas de aço e necessidade de maior resistência de argamassa. Em função dos grupos de paredes com comprimentos variados, o carregamento vertical apresentou as maiores diferenças de cargas entre os grupos.
- Os Projetos 2 e 5 são semelhantes com relação a resistência dos blocos e da argamassa. Essas formas arquitetônicas resultaram em carregamentos verticais semelhantes, assim como horizontais. Porém, o Projeto 2 apresenta paredes com rigidez maiores que o Projeto 5, resultando em maior área de aço.

5. CONCLUSÃO

Com relação aos objetivos do trabalho, foi possível analisar a influência da forma do projeto arquitetônico no dimensionamento de projetos de alvenaria estrutural.

Da mesma forma, foi efetuado o dimensionamento à compressão, ao cisalhamento e à flexocompressão de diferentes formas arquitetônicas. E por final, foi analisada a relação entre a forma arquitetônica e os resultados em termos de resistência de blocos, da argamassa, área de aço e quantidade de graute.

Foi possível constatar que algumas formas são semelhantes em termos dos resultados de dimensionamento. Algumas são mais eficientes, ou seja, conduzem a resultados mais econômicos em função de proporcionar melhor distribuição dos esforços, e, conseqüentemente, exigindo menores resistências de blocos, quantidade de graute e de armadura. Neste sentido, pode ser destacada a forma retangular (Projeto 1) analisada neste trabalho. Além de apresentar a melhor eficiência de aproveitamento de espaços, como indicado na literatura, também conduz aos melhores resultados de dimensionamento.

Apesar deste projeto ter apresentado uma parede com tensão de cisalhamento acima do admissível, um estudo de distribuição interna dos ambientes, com outras disposições das aberturas, poderia reduzir a rigidez desta parede, reduzindo seu comprimento, e assim, distribuindo de forma mais homogênea os esforços horizontais entre as paredes.

Embora o estudo analise a influência da forma, foi possível constatar que muitos resultados estiveram associados com a distribuição interna dos ambientes. Por exemplo, para a forma arquitetônica do Projeto 3, os resultados de dimensionamento poderiam ser melhorados, com outra distribuição de ambientes internos, que conduzissem a grupos de paredes com comprimentos semelhantes. Isso poderia ser obtido com outras disposições das aberturas nos ambientes, que são as responsáveis pelas delimitações dos grupos de paredes.

Entretanto, os objetivos do estudo foram alcançados, sendo que os dados podem ser utilizados para análise na elaboração de projetos de

alvenaria estrutural, proporcionando a obtenção de resultados mais eficientes em termos de dimensionamento.

5.1. Sugestões para trabalhos futuros

Como continuidade desta pesquisa, sugere-se os seguintes temas:

- Analisar a viabilidade econômica de aumentar a resistência dos blocos, para reduzir a quantidade de pontos de graute;
- Avaliar as diferenças em termos de dimensionamento, em função da variação da posição das aberturas, resultando em diferentes grupos de paredes;
- Avaliar a influência de diferentes eficiências de blocos (cerâmicos e de concreto) nos resultados de dimensionamento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15961 parte 2 – Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto - Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

ARAÚJO, G. L. Alvenaria estrutural com blocos cerâmicos destinada a edifícios de pequeno porte: Estudo de caso na cidade de Mossoró – RN. 63 f. Monografia - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – RN, 2011.

ARMHEIN, J. E. Reinforced masonry engineering handbook, 5th Ed. Los Angeles, USA, Mansory Institute of America, 1998.

ASSIS, J. B. S. Avaliação experimental do comportamento estrutural de paredes não armadas, submetidas à compressão axial, construídas com tijolito. 188 f. Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2001.

CAMACHO, J. S. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. 48 f. Anais - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Ilha Solteira - SP, 2006.

CAVALHEIRO, O. P. Alvenaria estrutural – Tão antiga e tão atual. 8 f. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS, s. d.

FIGUEIRÓ, W. O. Racionalização do Processo Construtivo de Edifícios em Alvenaria Estrutural. 75 f. Monografia - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2009.

FRANCO L. S.; AGOPYAN V. Racionalização dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada. Anais – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 1994.

FREIRE B. S. Sistema construtivo em alvenaria estrutural de bloco de concreto. 32 f. TCC – Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo – SP, 2007.

GOMES, N. S. A Resistência das Paredes de Alvenaria. Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Carlos, São Paulo – SP, 1994.

JUNIOR M. S. C.; BAVASTRI. E. Y. N. Pesquisa de alvenaria estrutural, racionalização, história, vantagens e desvantagens e patologias. Anais – 54^o Congresso Brasileiro do Concreto. Maceió – AL, 2012.

KALIL S. M. B. Alvenaria Estrutural. 86 f. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2007.

LOURENÇO P. B. Aspectos sobre a construção em alvenaria estrutural. Universidade do Minho Guimarães, Guimarães – Portugal, 1999.

MANZIONE, L. Projeto e execução de alvenaria estrutural. 2. ed. São Paulo – SP. O Nome da Rosa, 2004. 116 p.

PARSEKIAN, G. A.; HAMID A. A.; DRYSDALE R. G. Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto. 1. ed. São Carlos – SP, 2012. 85 p.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projetos e controle. 1. ed. São Paulo, SP. O Nome da Rosa, 2010. 238 p.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, Márcio Roberto Silva. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. São Paulo, SP. Pini, 2003. 174 p.

RIBEIRO M. S.; JUNIOR C. M. A contribuição dos processos industriais de construção para adoção de novas tecnologias na construção civil no Brasil. 107 f. Campos dos Goytacazes, RJ. 2003.

Romaltalia. Disponível em: < <http://romaltalia.com.br/>> Acesso em: 14 out. 2014.

ROMAN H. R.; SIGNOR R.; RAMOS A. S.; MOHAMAD G. Análise de alvenaria estrutural. 169 f. Florianópolis – SC, s. d.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. Alvenaria Estrutural. 1. ed. Editora Pini. São Paulo – SP, 2010.

TAVARES J. H. Alvenaria estrutural: estudo bibliográfico e definições. 58 f. Monografia - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – RN, 2011.

THOMAZ, E.; HELENE, P. Boletim técnico: Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios. Escola Politécnica da USP. São Paulo – SP, 2000.

Vegas Vet Saver. Disponível em: < <http://vegasvetsaver.com/>> Acesso em: 14 out. 2014.

YOSHITO, É. Sistemas construtivos em alvenaria estrutural de blocos de concreto, 2005.

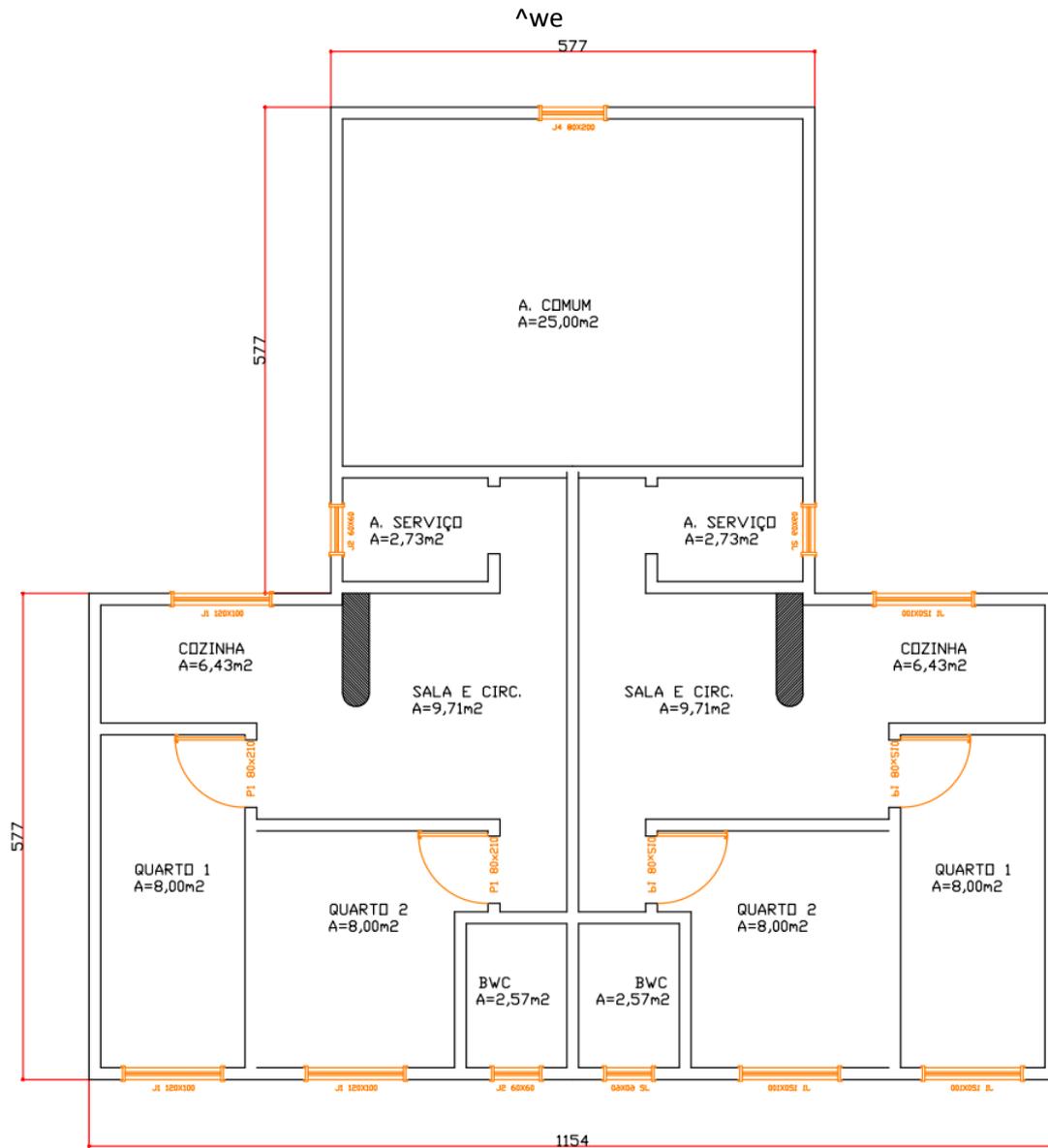


Figura 23 – Projeto arquitetônico 2

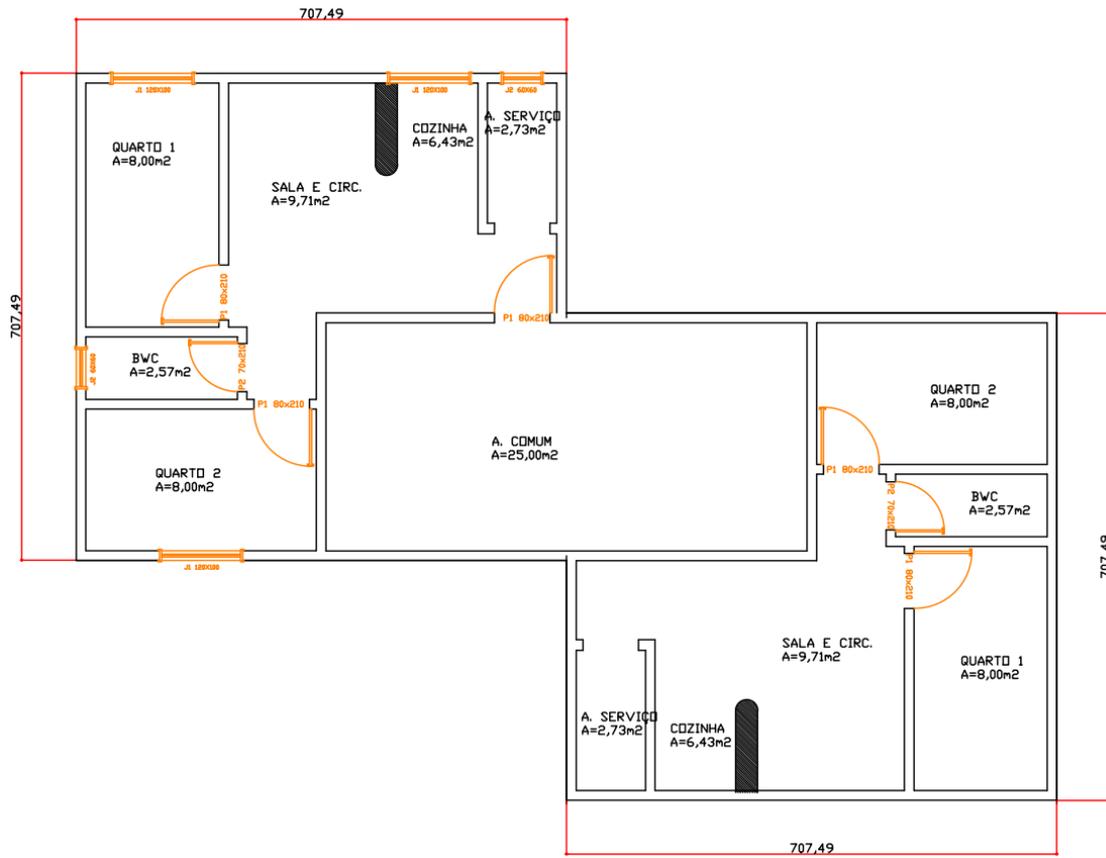


Figura 24 – Projeto arquitetônico 3

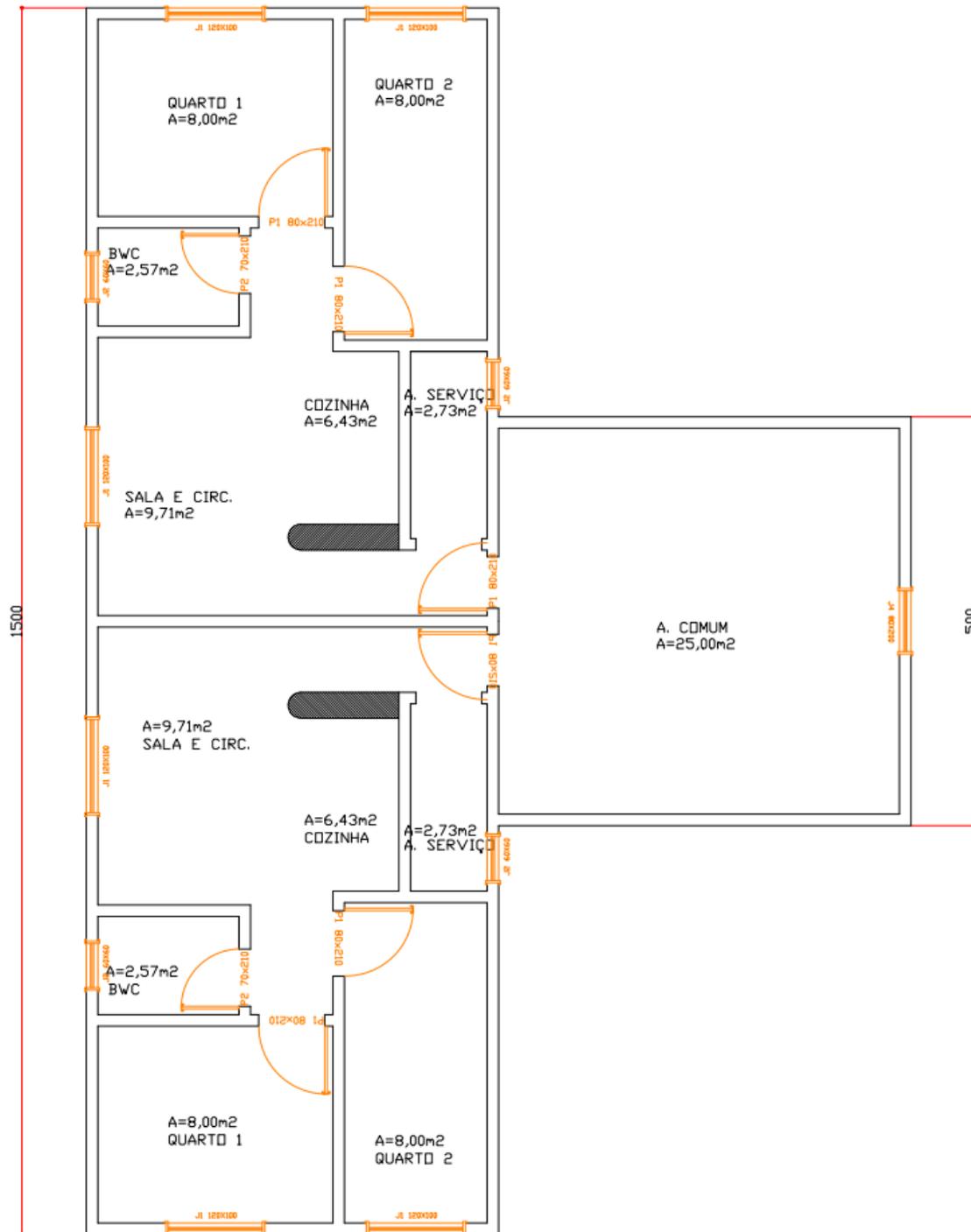


Figura 25 – Projeto arquitetônico 4

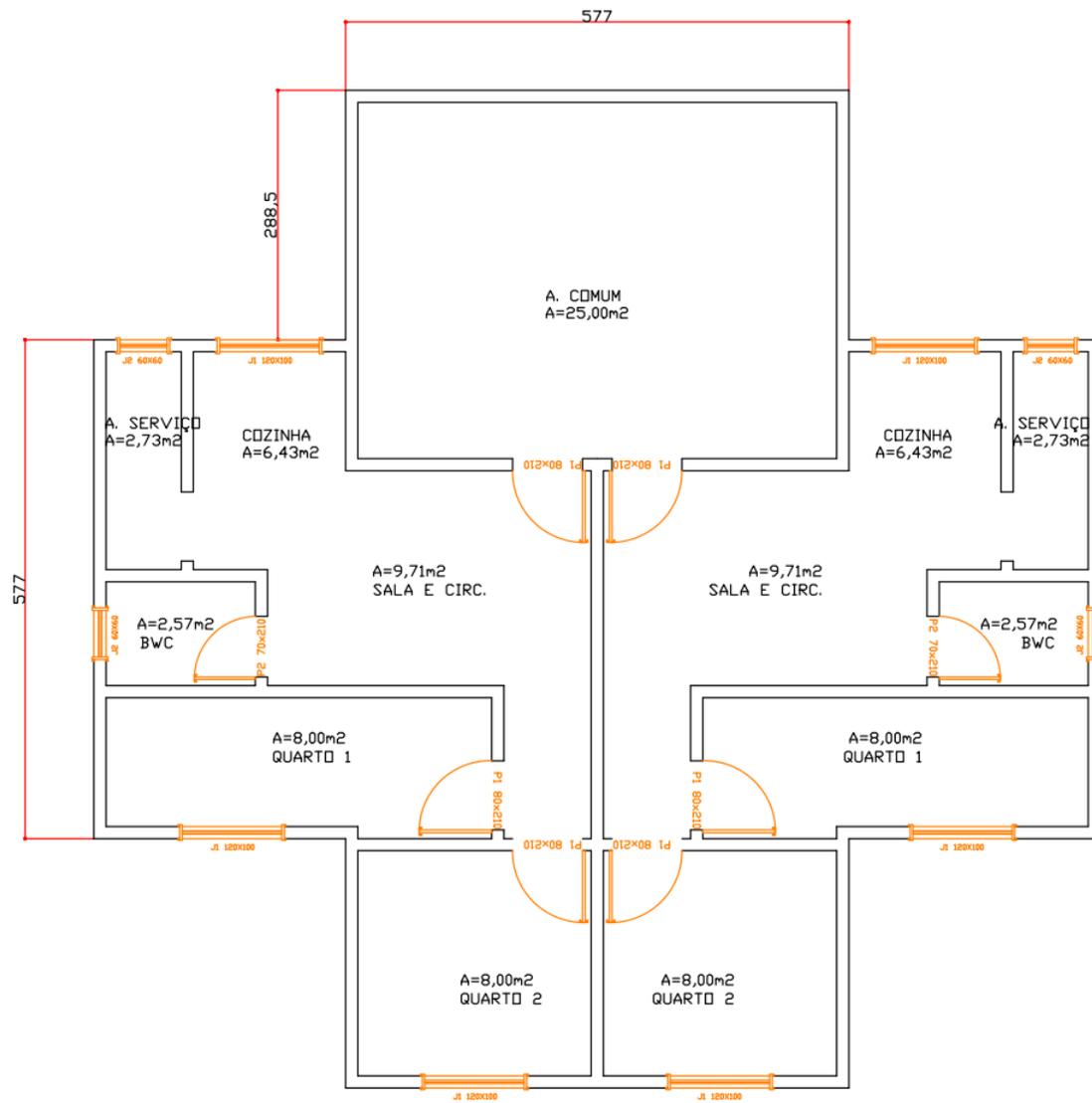


Figura 26 – Projeto arquitetônico 5

APÊNDICE B – Modulação da planta baixa do pavimento tipo para cada um dos cinco projetos estudados

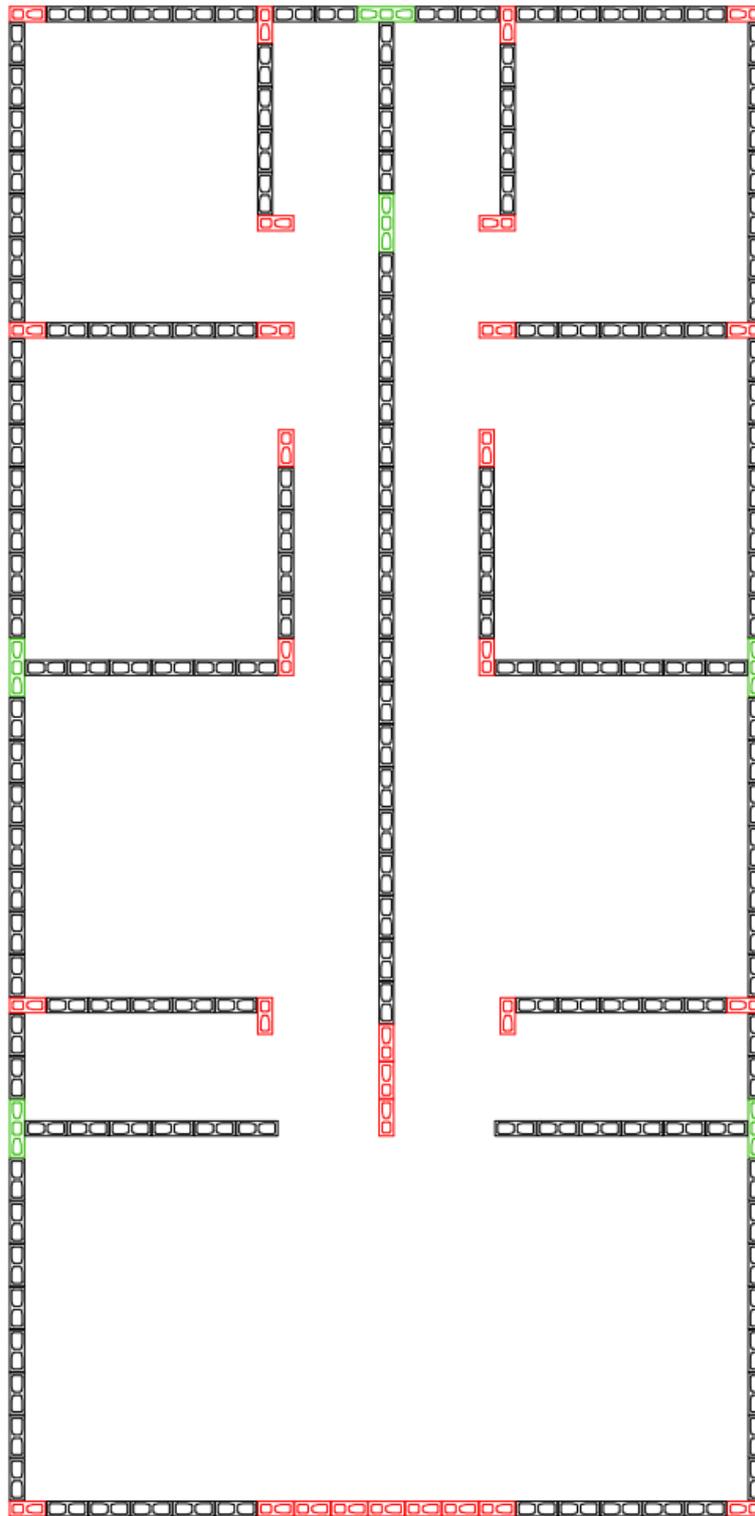


Figura 27 – Modulação projeto arquitetônico 1

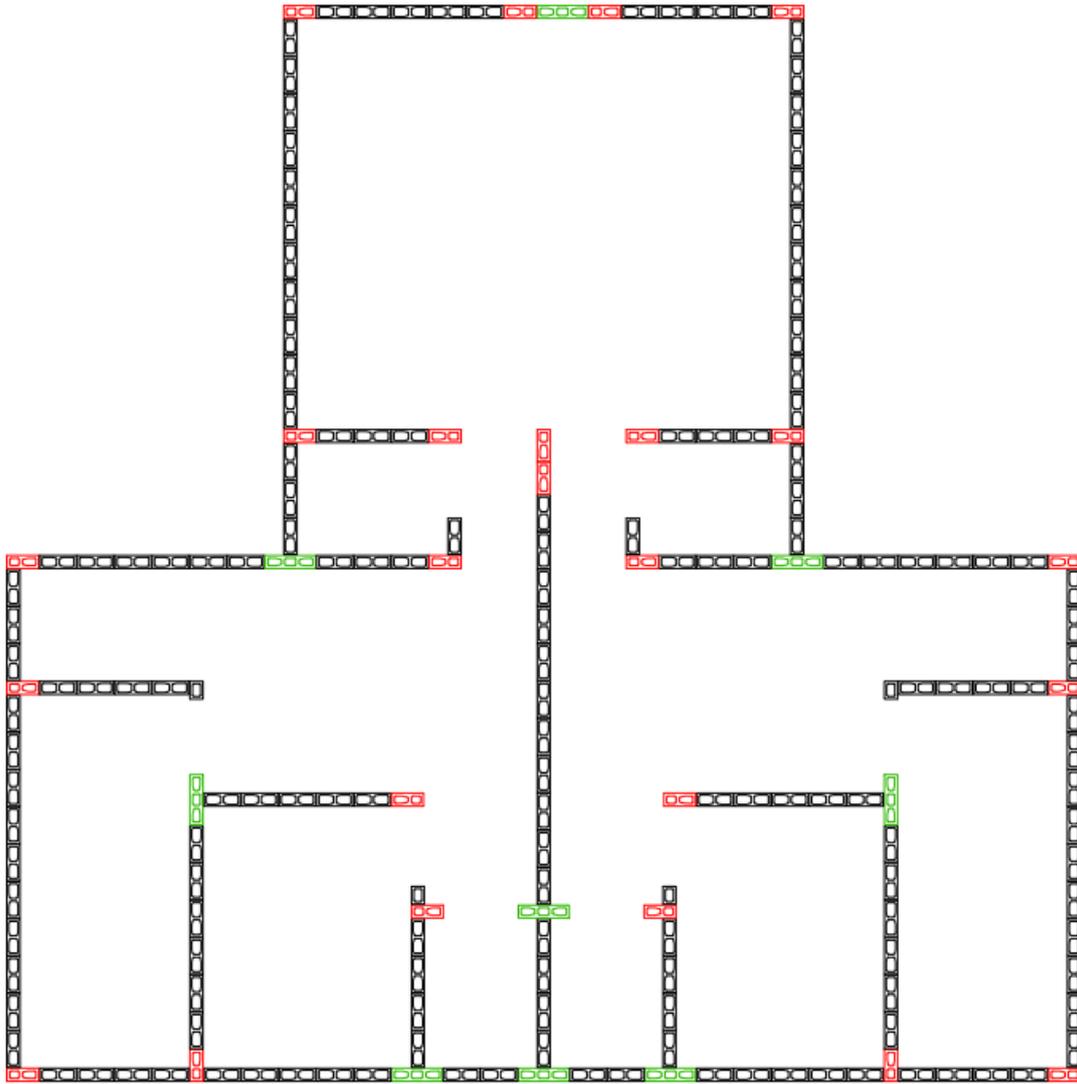


Figura 28 – Modulação projeto arquitetônico 2

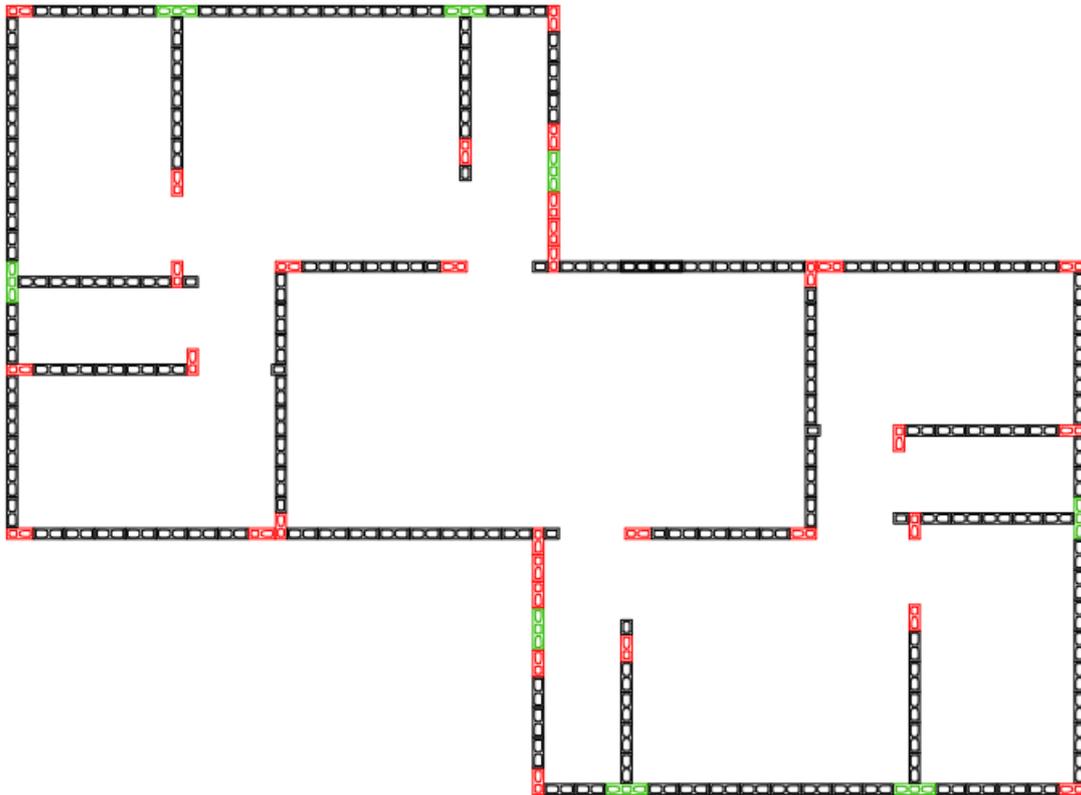


Figura 29 – Modulação projeto arquitetônico 3

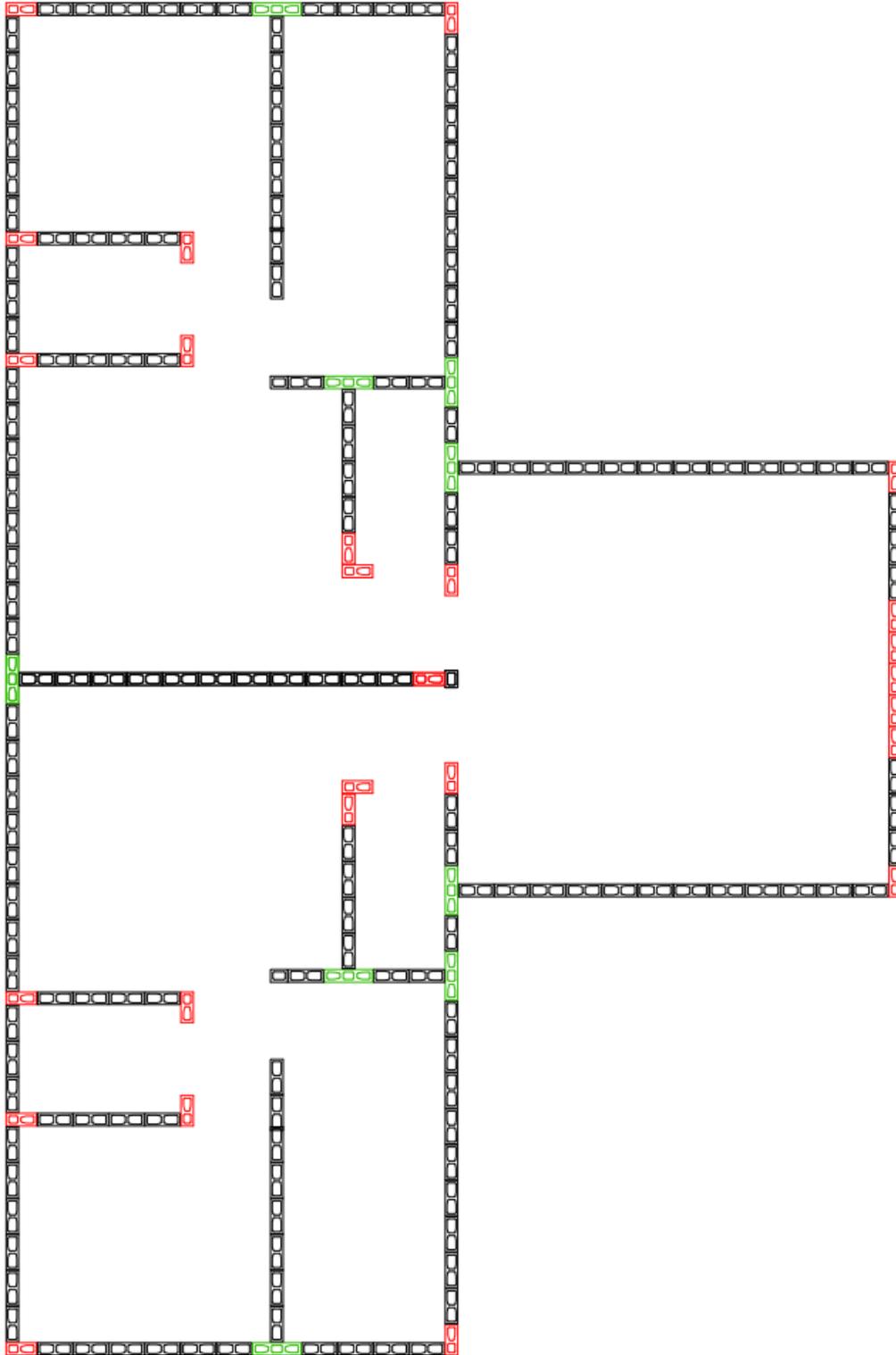


Figura 30 – Modulação projeto arquitetônico 4

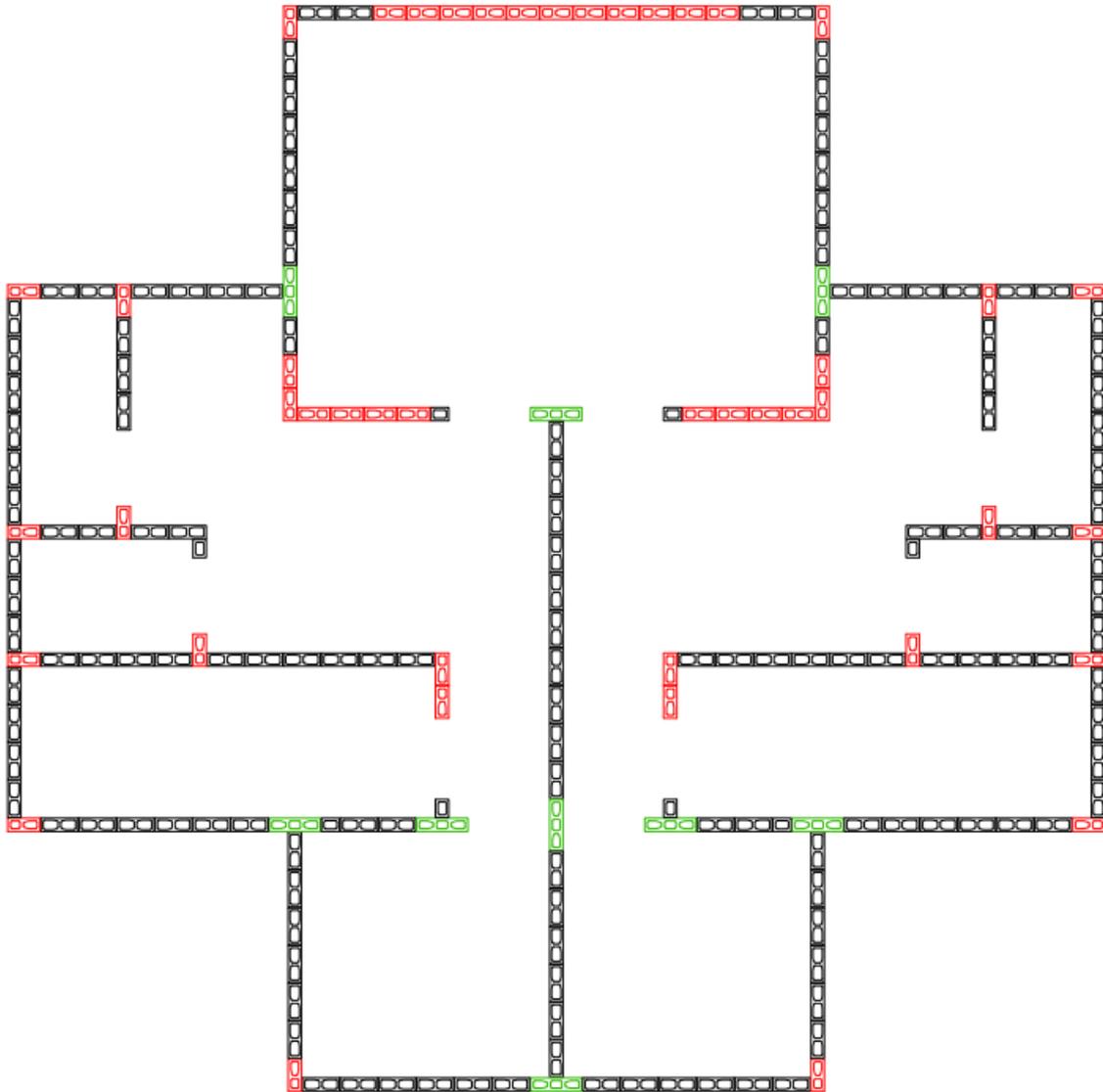


Figura 31 – Modulação projeto arquitetônico 5

APÊNDICE C – Áreas de influências do pavimento tipo para cada um dos cinco projetos estudados

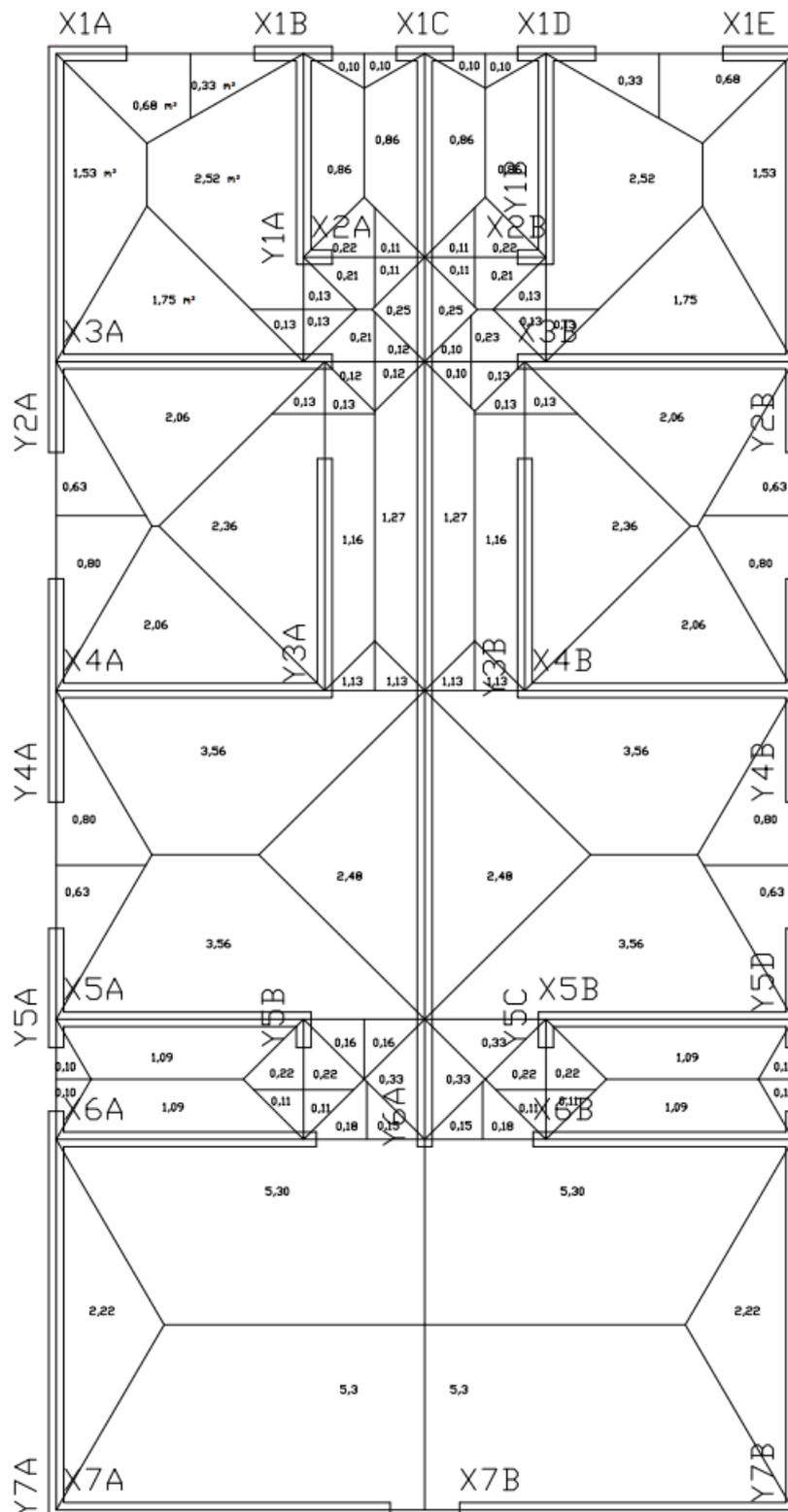


Figura 32 – Áreas de influência projeto arquitetônico 1

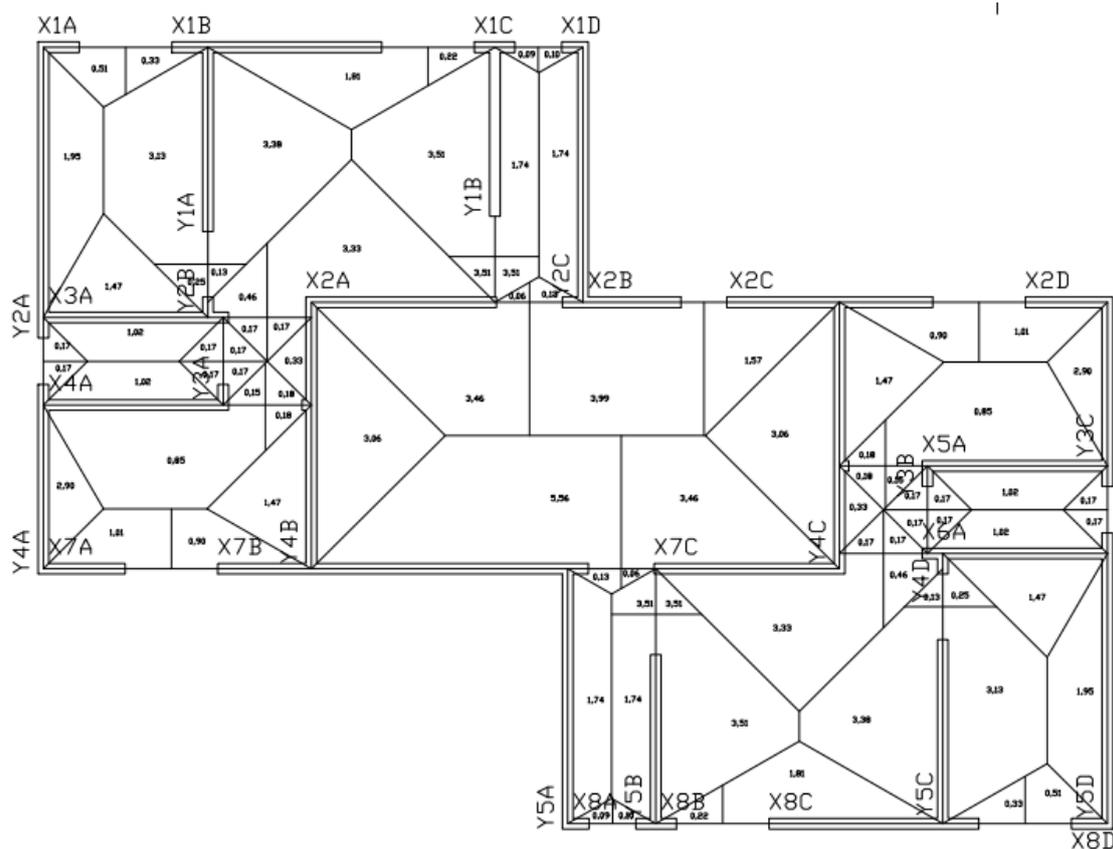


Figura 34 – Áreas de influência projeto arquitetônico 3

APÊNDICE D – Planta baixa apresentando os grupos de paredes do pavimento tipo para cada um dos cinco projetos estudados

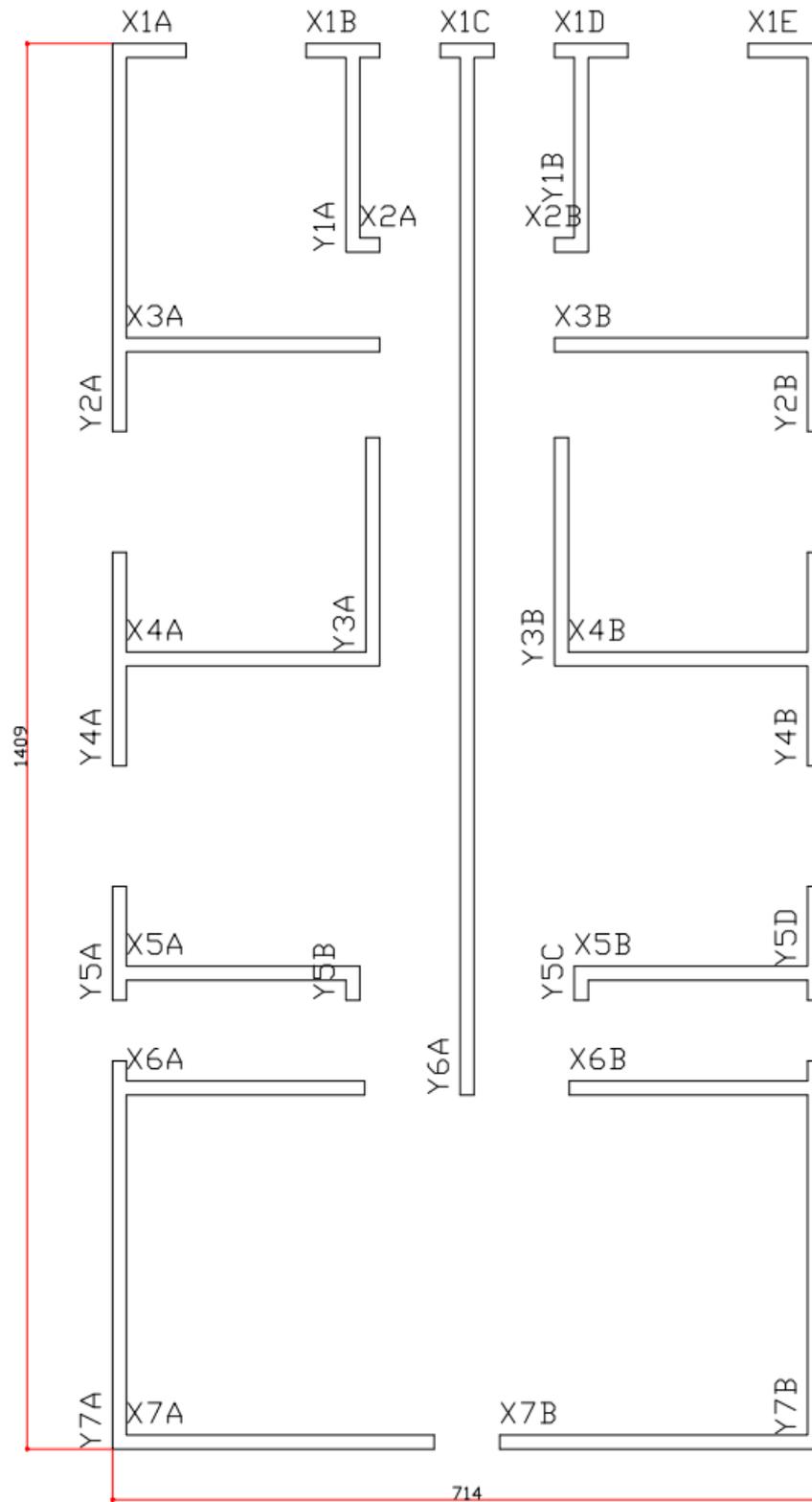


Figura 37 – Grupos de paredes projeto arquitetônico 1

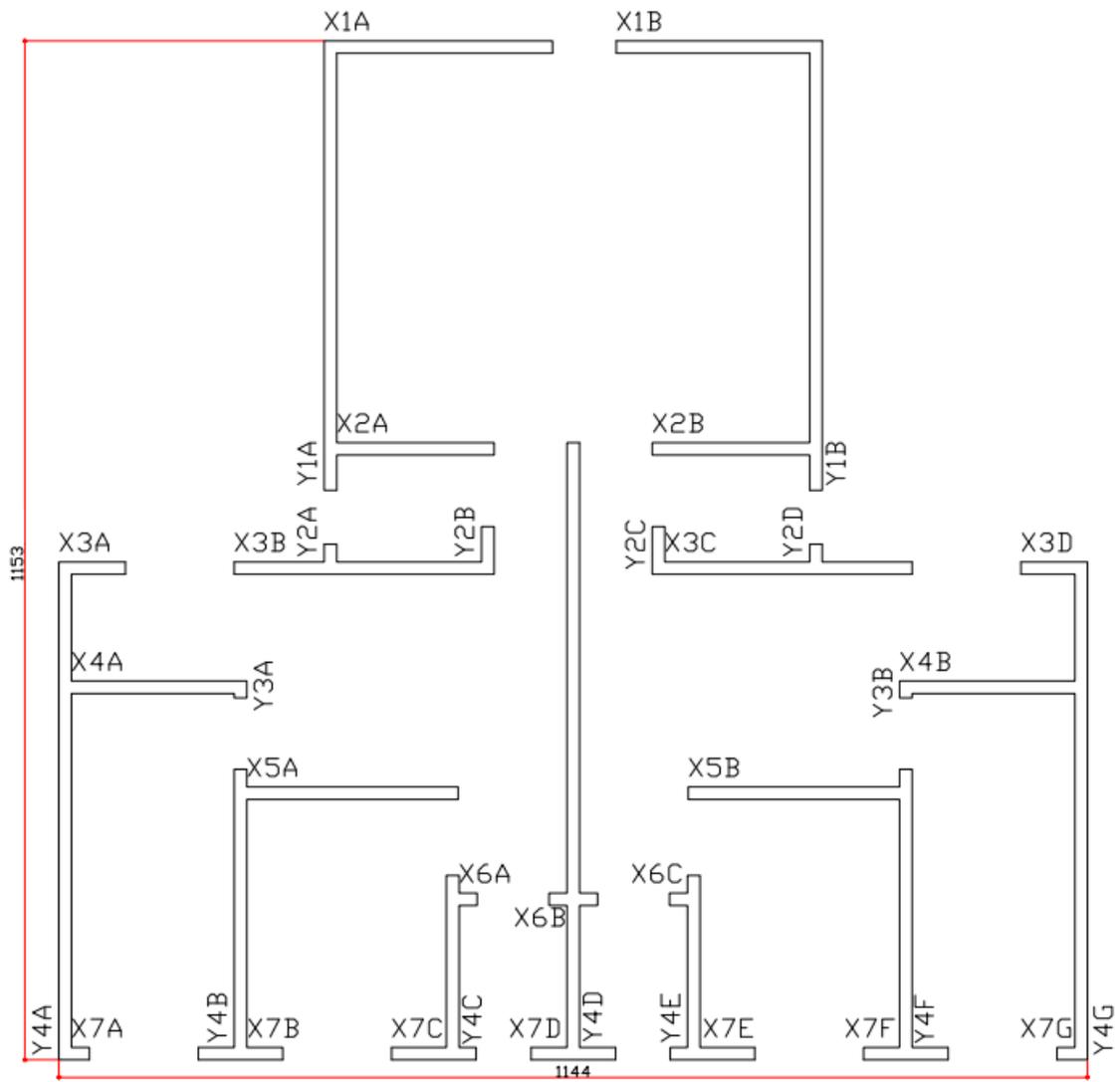


Figura 38 – Grupos de paredes projeto arquitetônico 2

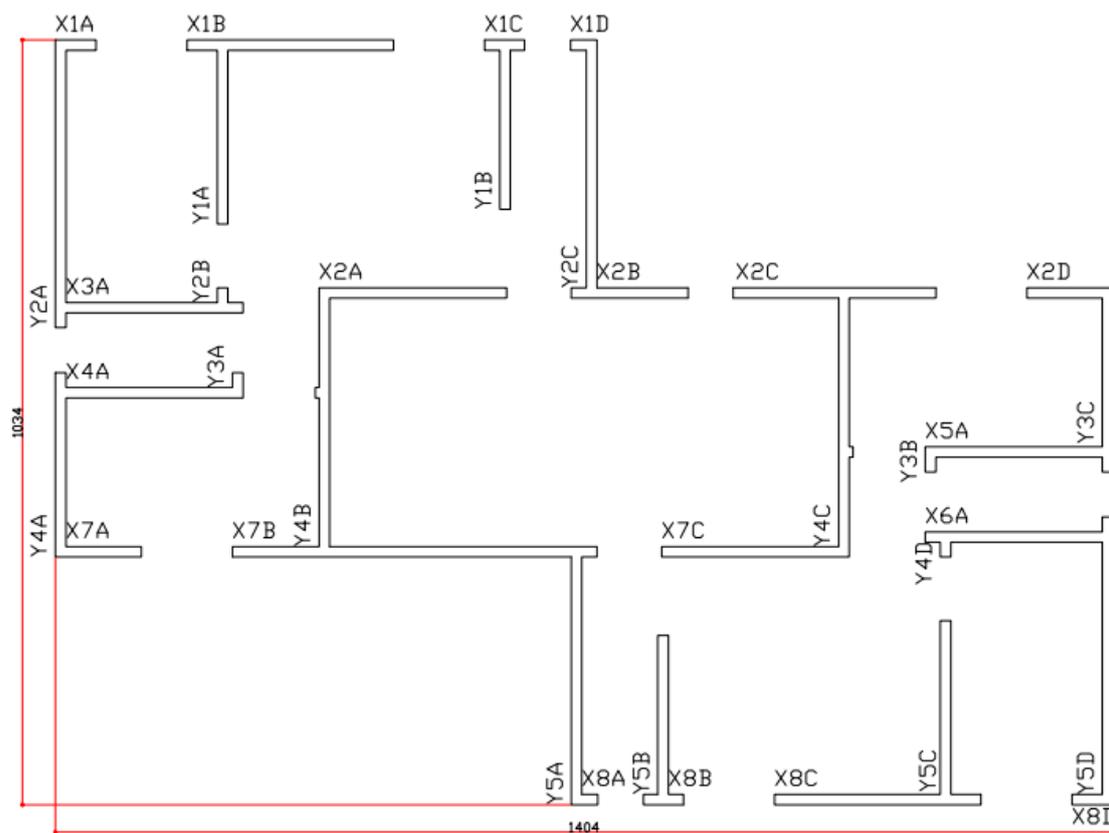


Figura 39 – Grupos de paredes projeto arquitetônico 3

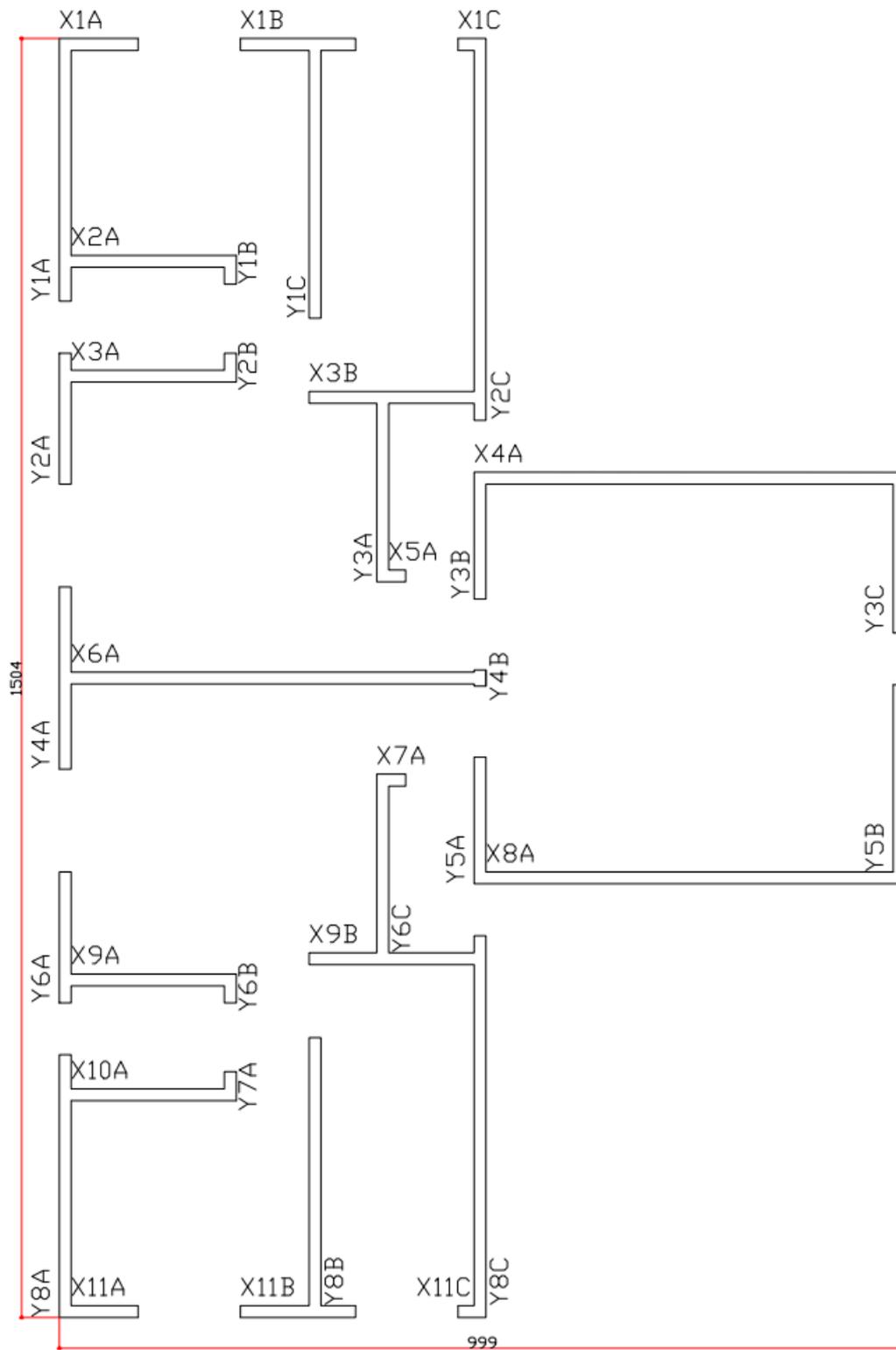


Figura 40 – Grupos de paredes projeto arquitetônico 4

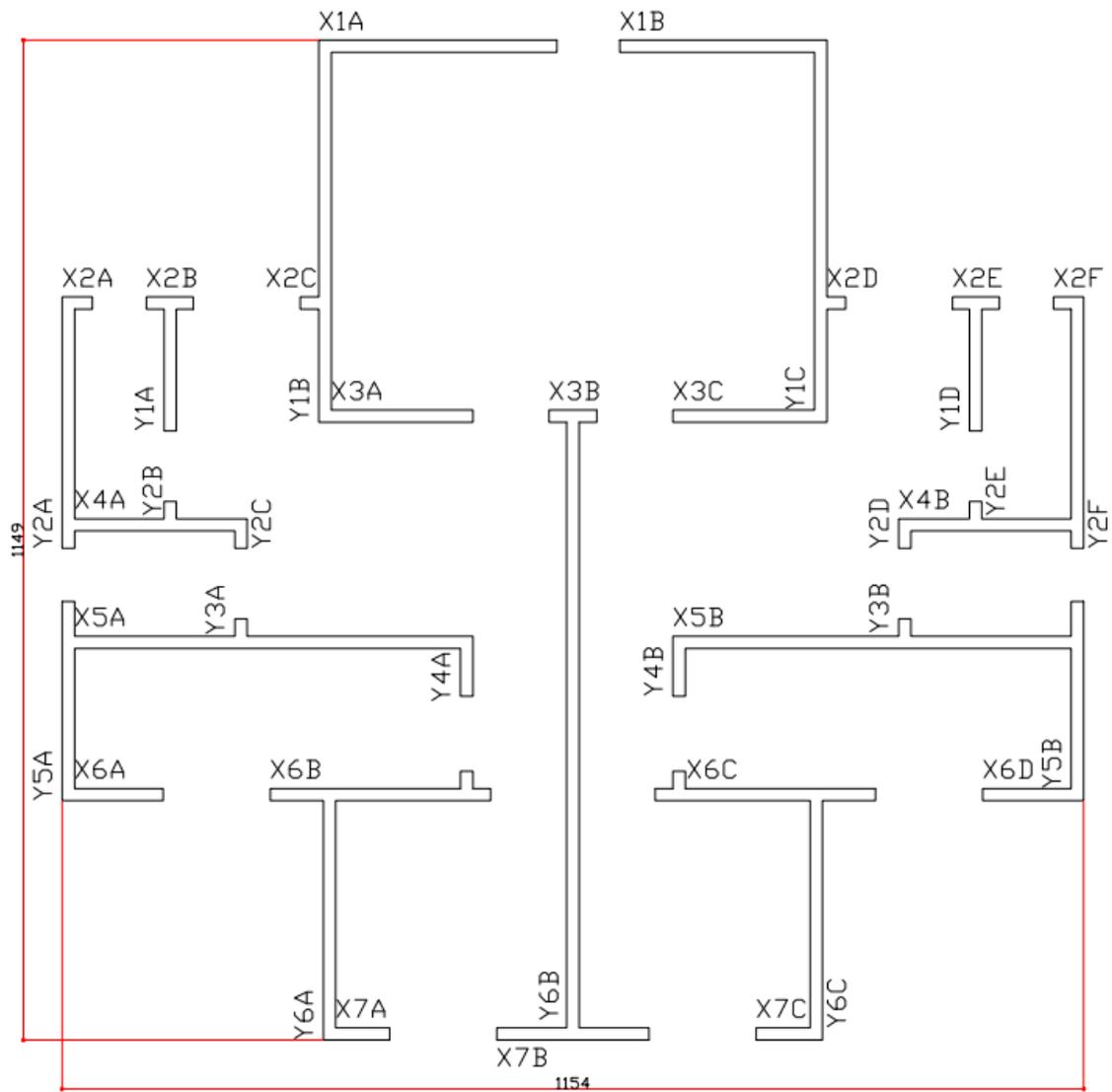


Figura 41 – Grupos de paredes projeto arquitetônico 5

APÊNDICE E – Levantamento de cargas para o pavimento tipo de cada projeto

Tabela27 – Cargas levantadas de paredes do Projeto 1

Parede	Comprimento Janela (m)	Comprimento Porta (m)	Área da Laje (m ²)	Total G (kN)	Total Q+G	Total 8 pav. (KN)
X1A			0,68	8,02	9,04	72,33
X1B	0,61		0,43	7,59	8,24	65,90
X1C	0,61		0,20	5,75	6,05	48,38
X1D	0,61		0,43	7,59	8,24	65,90
X1E	0,61		0,68	8,02	9,04	72,33
X2A	0,41		0,56	4,73	5,57	44,56
X2B	0,41		0,56	4,73	5,57	44,56
X3A		0,48	4,66	29,70	36,69	293,50
X3B		0,48	4,66	29,70	36,69	293,50
X4A		0,48	5,62	32,82	41,25	329,98
X4B		0,48	5,62	32,82	41,25	329,98
X5A		0,58	4,65	28,69	35,66	285,28
X5B		0,58	4,65	28,69	35,66	285,28
X6A		0,60	6,79	35,67	45,85	366,84
X6B		0,60	6,79	35,67	45,85	366,84
X7A	0,33		5,30	35,79	43,74	349,89
X7B	0,33		5,30	35,79	43,74	349,89
Y1A		0,50	3,38	22,27	27,34	218,76
Y1B		0,50	3,38	22,27	27,34	218,76
Y2A	0,61		2,16	25,34	28,58	228,67
Y2B	0,61		2,16	25,34	28,58	228,67
Y3A		0,43	3,65	24,55	30,03	240,21
Y3B		0,43	3,65	24,55	30,03	240,21
Y4A	1,21		1,60	21,21	23,61	188,91
Y4B	1,21		1,60	21,21	23,61	188,91
Y5A	0,91		0,73	11,84	12,93	103,47
Y5B		0,41	0,60	3,91	4,81	38,46
Y5C		0,41	0,60	3,91	4,81	38,46
Y5D	0,91		0,73	11,84	12,93	103,47
Y6A		4,15	14,52	109,15	130,93	1047,40
Y7A			2,22	28,18	31,51	252,07
Y7B			2,22	28,18	31,51	252,07

Tabela28 – Cargas levantadas de paredes do Projeto 2

Parede	Comprimento Janela (m)	Comprimento Porta (m)	Área da Laje (m ²)	Total G (kN)	Total Q+G	Total 8 pav. (KN)
X1A	0,36		2,90	24,23	28,58	228,66
X1B	0,36		2,90	24,23	28,58	228,66
X2A	0,41		6,53	32,26	42,05	336,40
X2B	0,41		6,53	32,26	42,05	336,40
X3A	0,61		0,50	7,44	8,19	65,49
X3B	0,61	0,41	5,05	34,12	41,69	333,52
X3C	0,61	0,41	5,05	34,12	41,69	333,52
X3D	0,61		0,50	7,44	8,19	65,49
X4A			5,22	27,67	35,50	283,97
X4B			5,22	27,67	35,50	283,97
X5A		0,43	5,80	32,31	41,01	328,06
X5B		0,43	5,80	32,31	41,01	328,06
X6A		0,40	0,44	3,38	4,04	32,34
X6B		0,80	0,88	6,76	8,08	64,67
X6C		0,40	0,44	3,38	4,04	32,34
X7A	0,61		0,33	4,69	5,18	41,47
X7B	1,21		0,66	11,57	12,56	100,50
X7C	0,91		0,56	10,19	11,03	88,23
X7D	0,61		0,34	8,42	8,93	71,41
X7E	0,91		0,56	10,19	11,03	88,23
X7F	1,21		0,66	11,57	12,56	100,50
X7G	0,61		0,33	4,69	5,18	41,47
Y1A	0,31		3,96	41,50	47,44	379,49
Y1B	0,31		3,96	41,50	47,44	379,49
Y2A	0,31		0,10	2,88	3,03	24,26
Y2B		0,41	0,75	5,49	6,62	52,95
Y2C		0,41	0,75	5,49	6,62	52,95
Y2D	0,31		0,10	2,88	3,03	24,26
Y3A		0,41	0,74	3,54	4,65	37,20
Y3B		0,41	0,74	3,54	4,65	37,20
Y4A			2,60	38,63	42,53	340,27
Y4B		0,41	6,39	38,92	48,50	388,00
Y4C		0,43	3,32	22,38	27,36	218,89
Y4D		0,81	9,06	67,99	81,58	652,64
Y4E		0,43	3,32	22,38	27,36	218,89
Y4F		0,41	6,39	38,92	48,50	388,00
Y4G			2,60	38,63	42,53	340,27

Tabela29 – Cargas levantadas de paredes do Projeto 3

Parede	Comprimento Janela (m)	Comprimento Porta (m)	Área da Laje (m ²)	Total G (kN)	Total Q+G	Total 8 pav. (KN)
X1A	0,61		0,51	6,37	7,14	57,09
X1B	1,21		2,14	26,26	29,47	235,77
X1C	0,91		2,99	15,84	20,32	162,57
X1D	0,31		0,10	2,94	3,09	24,70
X2A		0,43	6,85	36,05	46,32	370,59
X2B	0,30	0,43	4,12	23,46	29,64	237,12
X2C	0,91		2,47	26,00	29,71	237,65
X2D	0,61		1,01	11,29	12,80	102,43
X3A		0,41	3,00	23,51	28,01	224,06
X4A		0,48	2,87	22,79	27,09	216,75
X5A		0,48	2,87	22,79	27,09	216,75
X6A		0,41	3,00	23,51	28,01	224,06
X7A	0,61	0,00	1,01	11,29	12,80	102,43
X7B	0,61		6,46	49,69	59,38	475,05
X7C		0,43	6,85	36,05	46,32	370,59
X8A	0,31		0,10	2,94	3,09	24,70
X8B	0,91		2,99	15,84	20,32	162,57
X8C	1,21		2,14	26,26	29,47	235,77
X8D	0,61		0,51	6,37	7,14	57,09
Y1A		0,43	6,51	34,94	44,71	357,67
Y1B			5,25	29,25	37,12	296,97
Y2A	0,31		2,12	28,93	32,11	256,88
Y2B		0,43	0,84	4,72	5,98	47,82
Y2C			1,74	24,04	26,65	213,20
Y3A		0,41	0,49	3,55	4,29	34,28
Y3B		0,41	0,49	3,55	4,29	34,28
Y3C	0,31		3,07	24,33	28,94	231,52
Y4A	0,31		3,07	24,33	28,94	231,52
Y4B		0,48	5,39	37,29	45,37	363,00
Y4C		0,48	5,39	37,29	45,37	363,00
Y4D		0,43	0,84	4,72	5,98	47,82
Y5A			1,74	24,04	26,65	213,20
Y5B			5,25	29,25	37,12	296,97
Y5C		0,43	6,51	34,94	44,71	357,67
Y5D	0,31		2,12	28,93	32,11	256,88

Tabela30 – Cargas levantadas de paredes do Projeto 4

Parede	Comprimento Janela (m)	Comprimento Porta (m)	Área da Laje (m ²)	Total G (kN)	Total Q+G	Total 8 pav. (KN)
X1A	0,61		0,93	9,88	11,27	90,17
X1B	1,21		0,98	14,92	16,39	131,10
X1C	0,61		0,36	4,73	5,27	42,17
X2A			3,55	22,24	27,56	220,51
X3A			4,77	26,20	33,36	266,87
X3B		0,43	2,81	20,72	24,94	199,51
X4A			4,48	41,73	48,45	387,56
X5A		0,41	0,62	3,97	4,90	39,22
X6A			9,72	58,48	73,06	584,49
X7A		0,41	0,62	3,97	4,90	39,22
X8A		0,00	4,48	41,73	48,45	387,56
X9A		0,00	3,55	22,24	27,56	220,51
X9B		0,43	4,77	26,20	33,36	266,87
X10A			3,55	22,24	27,56	220,51
X11A	0,61		0,93	9,88	11,27	90,17
X11B	1,21		0,98	14,92	16,39	131,10
X11C	0,61		0,36	4,73	5,27	42,17
Y1A	0,31		1,36	22,07	24,11	192,88
Y1B	0,31	0,41	0,57	4,89	5,74	45,93
Y1C		0,43	6,55	39,46	49,29	394,32
Y2A	0,91		0,91	14,62	15,98	127,88
Y2B		0,41	0,57	3,81	4,67	37,32
Y2C	0,31		2,35	32,97	36,50	291,96
Y3A			3,60	23,22	28,62	229,00
Y3B	0,31	0,84	5,72	28,44	37,02	296,17
Y3C	0,31		2,20	18,21	21,51	172,11
Y4A	1,21		1,52	20,95	23,23	185,87
Y4B		0,86	0,26	2,90	3,29	26,31
Y5A		0,43	2,81	20,72	24,94	199,51
Y5B	0,50		3,02	24,05	28,58	228,62
Y6A	0,91		0,91	14,62	15,98	127,88
Y6B		0,41	0,57	3,81	4,67	37,32
Y6C			3,60	23,22	28,62	229,00
Y7A	0,31	0,41	0,57	4,89	5,74	45,93
Y8A	0,31		1,36	22,07	24,11	192,88
Y8B		0,43	6,55	39,46	49,29	394,32
Y8C	0,31	0,00	2,35	32,97	36,50	291,96

Tabela31 – Cargas levantadas de paredes do Projeto 5

Parede	Comprimento Janela (m)	Comprimento Porta (m)	Área da Laje (m ²)	Total G (kN)	Total Q+G	Total 8 pav. (KN)
X1A	0,36		4,06	28,83	34,92	279,33
X1B	0,36		3,32	24,50	29,48	235,84
X2A	0,31		0,15	3,05	3,27	26,16
X2B	0,91		0,31	7,13	7,59	60,73
X2C	0,61		0,22	4,39	4,72	37,73
X2D	0,61		0,22	4,39	4,72	37,73
X2E	0,91		0,31	7,13	7,59	60,73
X2F	0,31		0,15	3,05	3,27	26,16
X3A		0,43	4,68	24,88	31,90	255,21
X3B		1,29	3,48	15,79	21,01	168,08
X3C		0,43	4,68	24,88	31,90	255,21
X4A			1,82	16,62	19,35	154,77
X4B			1,82	16,62	19,35	154,77
X5A			6,70	46,47	56,52	452,17
X5B			6,70	46,47	56,52	452,17
X6A	0,61		1,08	11,52	13,14	105,09
X6B	0,61	0,43	5,24	33,34	41,20	329,56
X6C	0,61	0,43	5,24	33,34	41,20	329,56
X6D	0,61		1,08	11,52	13,14	105,09
X7A			0,76	6,20	7,34	58,73
X7B			1,24	13,47	15,33	122,63
X7C			0,76	6,20	7,34	58,73
Y1A		0,41	2,63	17,09	21,04	168,29
Y1B			6,31	43,83	53,30	426,37
Y1C			6,31	43,83	53,30	426,37
Y1D		0,41	2,63	17,09	21,04	168,29
Y2A	0,30		0,93	19,56	20,95	167,62
Y2B		0,41	0,48	3,52	4,24	33,90
Y2C		0,41	0,87	4,79	6,09	48,72
Y2D		0,41	0,87	4,79	6,09	48,72
Y2E		0,41	0,48	3,52	4,24	33,90
Y2F	0,30		0,93	19,56	20,95	167,62
Y3A		0,41	0,46	3,45	4,14	33,14
Y3B		0,41	0,46	3,45	4,14	33,14
Y4A		0,43	1,99	10,38	13,36	106,89
Y4B		0,43	1,99	10,38	13,36	106,89
Y5A	0,30		0,94	16,30	17,71	141,65
Y5B	0,30		0,94	16,30	17,71	141,65
Y6A			1,38	19,58	21,65	173,18
Y6B			4,80	54,56	61,76	494,12
Y6C			1,38	19,58	21,65	173,18

Tabela32 – Cargas levantadas nos grupos de paredes do Projeto 1

Grupo	Carga Pavimento (KN/m)															
	8		7		6		5		4		3		2		1	
	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q
1	10,22	1,82	20,44	3,65	30,66	5,47	40,88	7,29	51,10	9,12	61,33	10,94	71,55	12,76	81,77	14,59
2	11,69	2,21	23,38	4,43	35,07	6,64	46,75	8,86	58,44	11,07	70,13	13,29	81,82	15,50	93,51	17,72
3	10,50	2,02	21,00	4,04	31,51	6,05	42,01	8,07	52,51	10,09	63,01	12,11	73,52	14,13	84,02	16,15
4	11,69	2,21	23,38	4,43	35,07	6,64	46,75	8,86	58,44	11,07	70,13	13,29	81,82	15,50	93,51	17,72
5	10,22	1,82	20,44	3,65	30,66	5,47	40,88	7,29	51,10	9,12	61,33	10,94	71,55	12,76	81,77	14,59
6	11,37	2,36	22,74	4,72	34,12	7,08	45,49	9,44	56,86	11,80	68,23	14,16	79,61	16,52	90,98	18,88
7	11,37	2,36	22,74	4,72	34,12	7,08	45,49	9,44	56,86	11,80	68,23	14,16	79,61	16,52	90,98	18,88
8	11,82	2,39	23,63	4,77	35,45	7,16	47,27	9,54	59,09	11,93	70,90	14,31	82,72	16,70	94,54	19,09
9	11,82	2,39	23,63	4,77	35,45	7,16	47,27	9,54	59,09	11,93	70,90	14,31	82,72	16,70	94,54	19,09
10	10,67	2,30	21,34	4,60	32,00	6,89	42,67	9,19	53,34	11,49	64,01	13,79	74,67	16,09	85,34	18,39
11	10,67	2,30	21,34	4,60	32,00	6,89	42,67	9,19	53,34	11,49	64,01	13,79	74,67	16,09	85,34	18,39

Tabela33 – Cargas levantadas nos grupos de paredes do Projeto 2

Grupo	Carga Pavimento (KN/m)															
	8		7		6		5		4		3		2		1	
	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q
1	10,60	2,17	21,21	4,35	31,81	6,52	42,42	8,69	53,02	10,87	63,63	13,04	74,23	15,22	84,83	17,39
2	10,60	2,17	21,21	4,35	31,81	6,52	42,42	8,69	53,02	10,87	63,63	13,04	74,23	15,22	84,83	17,39
3	12,18	2,54	24,35	5,07	36,53	7,61	48,70	10,14	60,88	12,68	73,05	15,21	85,23	17,75	97,40	20,29
4	12,18	2,54	24,35	5,07	36,53	7,61	48,70	10,14	60,88	12,68	73,05	15,21	85,23	17,75	97,40	20,29
5	9,35	1,55	18,70	3,09	28,04	4,64	37,39	6,19	46,74	7,73	56,09	9,28	65,43	10,83	74,78	12,37
6	9,35	1,55	18,70	3,09	28,04	4,64	37,39	6,19	46,74	7,73	56,09	9,28	65,43	10,83	74,78	12,37
7	12,70	2,96	25,40	5,91	38,10	8,87	50,79	11,83	63,49	14,78	76,19	17,74	88,89	20,69	101,59	23,65
8	12,70	2,96	25,40	5,91	38,10	8,87	50,79	11,83	63,49	14,78	76,19	17,74	88,89	20,69	101,59	23,65
9	11,13	2,01	22,26	4,01	33,39	6,02	44,52	8,02	55,65	10,03	66,79	12,04	77,92	14,04	89,05	16,05
10	11,13	2,01	22,26	4,01	33,39	6,02	44,52	8,02	55,65	10,03	66,79	12,04	77,92	14,04	89,05	16,05
11	9,98	1,85	19,97	3,70	29,95	5,55	39,94	7,40	49,92	9,26	59,91	11,11	69,89	12,96	79,88	14,81

Tabela34 – Cargas levantadas nos grupos de paredes do Projeto 3

Grupo	Carga Pavimento (KN/m)															
	8		7		6		5		4		3		2		1	
	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q
1	9,10	1,39	18,20	2,78	27,30	4,17	36,40	5,56	45,51	6,95	54,61	8,34	63,71	9,73	72,81	11,12
2	11,86	2,51	23,72	5,03	35,58	7,54	47,45	10,06	59,31	12,57	71,17	15,09	83,03	17,60	94,89	20,12
3	10,14	1,83	20,28	3,65	30,42	5,48	40,56	7,31	50,71	9,13	60,85	10,96	70,99	12,79	81,13	14,61
4	16,39	4,49	32,79	8,99	49,18	13,48	65,57	17,98	81,97	22,47	98,36	26,97	114,76	31,46	131,15	35,96
5	9,74	1,73	19,47	3,45	29,21	5,18	38,95	6,90	48,69	8,63	58,42	10,36	68,16	12,08	77,90	13,81
6	10,30	2,05	20,59	4,11	30,89	6,16	41,19	8,21	51,48	10,27	61,78	12,32	72,08	14,37	82,38	16,43
7	11,47	2,47	22,94	4,94	34,42	7,40	45,89	9,87	57,36	12,34	68,83	14,81	80,30	17,28	91,78	19,75
8	10,14	1,83	20,28	3,65	30,42	5,48	40,56	7,31	50,71	9,13	60,85	10,96	70,99	12,79	81,13	14,61
9	16,39	4,49	32,79	8,99	49,18	13,48	65,57	17,98	81,97	22,47	98,36	26,97	114,76	31,46	131,15	35,96
10	11,86	2,51	23,72	5,03	35,58	7,54	47,45	10,06	59,31	12,57	71,17	15,09	83,03	17,60	94,89	20,12
11	12,46	2,92	24,92	5,84	37,39	8,76	49,85	11,68	62,31	14,60	74,77	17,52	87,24	20,44	99,70	23,35

Tabela35 – Cargas levantadas nos grupos de paredes do Projeto 4

Grupo	Carga Pavimento (KN/m)															
	8		7		6		5		4		3		2		1	
	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q
1	9,68	1,58	19,37	3,15	29,05	4,73	38,74	6,30	48,42	7,88	58,10	9,46	67,79	11,03	77,47	12,61
2	11,87	2,47	23,75	4,93	35,62	7,40	47,50	9,86	59,37	12,33	71,24	14,80	83,12	17,26	94,99	19,73
3	9,44	1,61	18,88	3,22	28,32	4,83	37,76	6,44	47,20	8,05	56,64	9,66	66,08	11,28	75,52	12,89
4	11,87	2,49	23,74	4,99	35,61	7,48	47,48	9,97	59,35	12,47	71,22	14,96	83,10	17,45	94,97	19,95
5	11,39	2,39	22,78	4,77	34,16	7,16	45,55	9,54	56,94	11,93	68,33	14,32	79,71	16,70	91,10	19,09
6	10,79	2,27	21,58	4,54	32,37	6,81	43,17	9,08	53,96	11,36	64,75	13,63	75,54	15,90	86,33	18,17
7	9,36	1,67	18,72	3,35	28,08	5,02	37,44	6,69	46,81	8,37	56,17	10,04	65,53	11,72	74,89	13,39
8	10,82	2,01	21,63	4,01	32,45	6,02	43,27	8,03	54,08	10,03	64,90	12,04	75,71	14,05	86,53	16,05
9	10,12	1,95	20,25	3,90	30,37	5,85	40,49	7,80	50,61	9,75	60,74	11,70	70,86	13,65	80,98	15,60
10	9,68	1,58	19,37	3,15	29,05	4,73	38,74	6,30	48,42	7,88	58,10	9,46	67,79	11,03	77,47	12,61
11	11,87	2,47	23,75	4,93	35,62	7,40	47,50	9,86	59,37	12,33	71,24	14,80	83,12	17,26	94,99	19,73

Tabela36 – Cargas levantadas nos grupos de paredes do Projeto 5

Grupo	Carga Pavimento (KN/m)															
	8		7		6		5		4		3		2		1	
	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q
1	11,56	2,60	23,11	5,19	34,67	7,79	46,22	10,39	57,78	12,98	69,34	15,58	80,89	18,18	92,45	20,78
2	12,11	2,21	24,22	4,41	36,33	6,62	48,44	8,82	60,54	11,03	72,65	13,23	84,76	15,44	96,87	17,64
3	8,52	1,14	17,03	2,28	25,55	3,43	34,07	4,57	42,58	5,71	51,10	6,85	59,62	8,00	68,13	9,14
4	10,15	1,93	20,30	3,86	30,45	5,79	40,61	7,72	50,76	9,65	60,91	11,58	71,06	13,51	81,21	15,44
5	9,99	1,87	19,97	3,74	29,96	5,61	39,94	7,48	49,93	9,35	59,91	11,22	69,90	13,09	79,88	14,96
6	8,96	1,53	17,91	3,05	26,87	4,58	35,82	6,10	44,78	7,63	53,73	9,15	62,69	10,68	71,65	12,21
7	11,52	2,57	23,05	5,15	34,57	7,72	46,09	10,29	57,61	12,87	69,14	15,44	80,66	18,01	92,18	20,59
8	12,11	2,21	24,22	4,41	36,33	6,62	48,44	8,82	60,54	11,03	72,65	13,23	84,76	15,44	96,87	17,64
9	8,52	1,14	17,03	2,28	25,55	3,43	34,07	4,57	42,58	5,71	51,10	6,85	59,62	8,00	68,13	9,14
10	10,15	1,93	20,30	3,86	30,45	5,79	40,61	7,72	50,76	9,65	60,91	11,58	71,06	13,51	81,21	15,44
11	9,99	1,87	19,97	3,74	29,96	5,61	39,94	7,48	49,93	9,35	59,91	11,22	69,90	13,09	79,88	14,96

APÊNDICE F – Resultados para ações do vento em cada um dos cinco projetos analisados

Tabela37 – Resultados para ações dos ventos no Projeto 1

Vento X						Vento Y					
Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)	Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)
2,80	0,74	35,28	0,76	19,99	14,95	2,80	0,74	35,28	0,76	39,45	40,65
5,60	0,80	38,35	0,90	19,99	17,66	5,60	0,80	38,35	0,90	39,45	48,00
8,40	0,84	40,26	0,99	19,99	19,46	8,40	0,84	40,26	0,99	39,45	52,91
11,20	0,87	41,67	1,06	19,99	20,85	11,20	0,87	41,67	1,06	39,45	56,69
14,00	0,90	42,80	1,12	19,99	22,00	14,00	0,90	42,80	1,12	39,45	59,81
16,80	0,92	43,75	1,17	19,99	22,99	16,80	0,92	43,75	1,17	39,45	62,49
19,60	0,93	44,57	1,22	19,99	23,85	19,60	0,93	44,57	1,22	39,45	64,84
22,40	0,95	45,29	1,26	19,99	24,63	22,40	0,95	45,29	1,26	39,45	66,95

Tabela38 – Resultados para ações dos ventos no Projeto 2

Vento X						Vento Y					
Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)	Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)
2,80	0,74	35,28	0,76	32,03	30,07	2,80	0,74	35,28	0,76	32,31	30,58
5,60	0,80	38,35	0,90	32,03	35,51	5,60	0,80	38,35	0,90	32,31	36,11
8,40	0,84	40,26	0,99	32,03	39,14	8,40	0,84	40,26	0,99	32,31	39,80
11,20	0,87	41,67	1,06	32,03	41,94	11,20	0,87	41,67	1,06	32,31	42,65
14,00	0,90	42,80	1,12	32,03	44,25	14,00	0,90	42,80	1,12	32,31	45,00
16,80	0,92	43,75	1,17	32,03	46,22	16,80	0,92	43,75	1,17	32,31	47,01
19,60	0,93	44,57	1,22	32,03	47,97	19,60	0,93	44,57	1,22	32,31	48,78
22,40	0,95	45,29	1,26	32,03	49,53	22,40	0,95	45,29	1,26	32,31	50,37

Tabela39 – Resultados para ações dos ventos no Projeto 3

Vento X						Vento Y					
Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)	Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)
2,80	0,74	35,28	0,76	39,31	37,20	2,80	0,74	35,28	0,76	28,95	24,53
5,60	0,80	38,35	0,90	39,31	43,94	5,60	0,80	38,35	0,90	28,95	28,97
8,40	0,84	40,26	0,99	39,31	48,43	8,40	0,84	40,26	0,99	28,95	31,93
11,20	0,87	41,67	1,06	39,31	51,89	11,20	0,87	41,67	1,06	28,95	34,21
14,00	0,90	42,80	1,12	39,31	54,74	14,00	0,90	42,80	1,12	28,95	36,09
16,80	0,92	43,75	1,17	39,31	57,19	16,80	0,92	43,75	1,17	28,95	37,70
19,60	0,93	44,57	1,22	39,31	59,35	19,60	0,93	44,57	1,22	28,95	39,13
22,40	0,95	45,29	1,26	39,31	61,28	22,40	0,95	45,29	1,26	28,95	40,40

Tabela40 – Resultados para ações dos ventos no Projeto 4

Vento X						Vento Y					
Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)	Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)
2,80	0,74	35,28	0,76	27,97	24,76	2,80	0,74	35,28	0,76	42,11	41,46
5,60	0,80	38,35	0,90	27,97	29,25	5,60	0,80	38,35	0,90	42,11	48,96
8,40	0,84	40,26	0,99	27,97	32,23	8,40	0,84	40,26	0,99	42,11	53,97
11,20	0,87	41,67	1,06	27,97	34,54	11,20	0,87	41,67	1,06	42,11	57,83
14,00	0,90	42,80	1,12	27,97	36,44	14,00	0,90	42,80	1,12	42,11	61,01
16,80	0,92	43,75	1,17	27,97	38,07	16,80	0,92	43,75	1,17	42,11	63,74
19,60	0,93	44,57	1,22	27,97	39,50	19,60	0,93	44,57	1,22	42,11	66,14
22,40	0,95	45,29	1,26	27,97	40,79	22,40	0,95	45,29	1,26	42,11	68,29

Tabela41 – Resultados para ações dos ventos no Projeto 5

Vento X						Vento Y					
Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)	Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)
2,80	0,74	35,28	0,76	32,31	30,33	2,80	0,74	35,28	0,76	32,17	30,45
5,60	0,80	38,35	0,90	32,31	35,82	5,60	0,80	38,35	0,90	32,17	35,96
8,40	0,84	40,26	0,99	32,31	39,48	8,40	0,84	40,26	0,99	32,17	39,63
11,20	0,87	41,67	1,06	32,31	42,31	11,20	0,87	41,67	1,06	32,17	42,46
14,00	0,90	42,80	1,12	32,31	44,63	14,00	0,90	42,80	1,12	32,17	44,80
16,80	0,92	43,75	1,17	32,31	46,63	16,80	0,92	43,75	1,17	32,17	46,80
19,60	0,93	44,57	1,22	32,31	48,39	19,60	0,93	44,57	1,22	32,17	48,57
22,40	0,95	45,29	1,26	32,31	49,96	22,40	0,95	45,29	1,26	32,17	50,15

APÊNDICE G – Resultados para ações do vento em cada um dos cinco projetos analisados

Tabela 42 - Esforços devido às ações horizontais nas direções Y e X no oitavo pavimento do Projeto 1

Parede	Inércia em y	$IY_i / \sum Iy_i$	Força (KN)	Momento (KN.m)	Parede	Inércia em x	$IX_i / \sum Ix_i$	Força (KN)	Momento (KN.m)
X1A	987675,66	0,00190	0,050	0,141	Y1A	20579360,56	0,00962	0,663	1,856
X1B	547047,81	0,00105	0,028	0,078	Y1B	20579360,56	0,00962	0,663	1,856
X1C	202916,00	0,00039	0,010	0,029	Y2A	111699390,43	0,05224	3,598	10,074
X1D	547047,81	0,00105	0,028	0,078	Y2B	111699390,43	0,05224	3,598	10,074
X1E	987675,66	0,00190	0,050	0,141	Y3A	23972648,36	0,01121	0,772	2,162
X2A	988947,41	0,00190	0,051	0,142	Y3B	23972648,36	0,01121	0,772	2,162
X2B	988947,41	0,00190	0,051	0,142	Y4A	11452942,67	0,00536	0,369	1,033
X3A	45934439,85	0,08846	2,348	6,575	Y4B	11452942,67	0,00536	0,369	1,033
X3B	45934439,85	0,08846	2,348	6,575	Y5A	2357057,82	0,00110	0,076	0,213
X4A	77036707,95	0,14836	3,938	11,027	Y5B	98947,41	0,00005	0,003	0,009
X4B	77036707,95	0,14836	3,938	11,027	Y5C	98947,41	0,00005	0,003	0,009
X5A	37880818,58	0,07295	1,937	5,422	Y5D	2357057,82	0,00110	0,076	0,213
X5B	37880818,58	0,07295	1,937	5,422	Y6A	1511952994,82	0,70710	48,698	136,354
X6A	34017624,90	0,06551	1,739	4,869	Y7A	142979889,80	0,06687	4,605	12,895
X6B	34017624,90	0,06551	1,739	4,869	Y7B	142979889,80	0,06687	4,605	12,895
X7A	62136659,53	0,11966	3,176	8,894					
X7B	62136659,53	0,11966	3,176	8,894					
Soma	519262759,40				Soma	2138233468,90			

Tabela 43 - Esforços devido às ações horizontais nas direções Y e X no oitavo pavimento do Projeto 2

Parede	Inércia em y	$IY_i / \sum Iy_i$	Força (KN)	Momento (KN.m)	Parede	Inércia em x	$IX_i / \sum Ix_i$	Força (KN)	Momento (KN.m)
X1A	31863300,22	0,10994	5,659	15,844	Y1A	276327386,91	0,14396	7,530	21,085
X1B	23972648,36	0,08271	4,257	11,920	Y1B	276327386,91	0,14396	7,530	21,085
X2A	15930542,04	0,05497	2,829	7,922	Y2A	123916,78	0,00006	0,003	0,009
X2B	15930542,04	0,05497	2,829	7,922	Y2B	386985,57	0,00020	0,011	0,030
X3A	988954,92	0,00341	0,176	0,492	Y2C	386985,57	0,00020	0,011	0,030
X3B	38280832,08	0,13208	6,798	19,035	Y2D	123916,78	0,00006	0,003	0,009
X3C	38280832,08	0,13208	6,798	19,035	Y3A	28565,99	0,00001	0,001	0,002
X3D	988954,92	0,00341	0,176	0,492	Y3B	28565,99	0,00001	0,001	0,002
X4A	24458031,48	0,08439	4,344	12,162	Y4A	307214188,12	0,16005	8,372	23,442
X4B	24458031,48	0,08439	4,344	12,162	Y4B	91569446,85	0,04771	2,495	6,987
X5A	32214599,03	0,11115	5,721	16,019	Y4C	21232678,49	0,01106	0,579	1,620
X5B	32214599,03	0,11115	5,721	16,019	Y4D	525698961,48	0,27388	14,326	40,114
X6A	2166610,38	0,00748	0,385	1,077	Y4E	21232678,49	0,01106	0,579	1,620
X6B	222124,00	0,00077	0,039	0,110	Y4F	91569446,85	0,04771	2,495	6,987
X6C	2166610,38	0,00748	0,385	1,077	Y4G	307214188,12	0,16005	8,372	23,442
X7A	98947,41	0,00034	0,018	0,049					
X7B	988222,67	0,00341	0,175	0,491					
X7C	1262098,53	0,00435	0,224	0,628					
X7D	988222,67	0,00341	0,175	0,491					
X7E	1262098,53	0,00435	0,224	0,628					
X7F	988222,67	0,00341	0,175	0,491					
X7G	98947,41	0,00034	0,018	0,049					
Soma	289823972,32				Soma	1919465298,91			

Tabela 44 - Esforços devido às ações horizontais nas direções Y e X no oitavo pavimento do Projeto 3

Parede	Inércia em y	$IY_i / \sum Iy_i$	Força (KN)	Momento (KN.m)	Parede	Inércia em x	$IX_i / \sum Ix_i$	Força (KN)	Momento (KN.m)
X1A	386985,57	0,00122	0,077	0,216	Y1A	34039497,31	0,03606	1,527	4,275
X1B	31309045,68	0,09874	6,242	17,478	Y1B	19410913,24	0,02056	0,871	2,438
X1C	193011,57	0,00061	0,038	0,108	Y2A	120206529,03	0,12734	5,391	15,096
X1D	107362,36	0,00034	0,021	0,060	Y2B	105508,46	0,00011	0,005	0,013
X2A	30171043,09	0,09515	6,015	16,843	Y2C	93011650,60	0,09853	4,172	11,681
X2B	6308747,95	0,01990	1,258	3,522	Y3A	98947,41	0,00010	0,004	0,012
X2C	22868526,63	0,07212	4,559	12,766	Y3B	98947,41	0,00010	0,004	0,012
X2D	3440403,27	0,01085	0,686	1,921	Y3C	45370449,67	0,04806	2,035	5,698
X3A	36844526,80	0,11619	7,346	20,568	Y4A	45370449,67	0,04806	2,035	5,698
X4A	38350896,78	0,12095	7,646	21,409	Y4B	159742466,41	0,16922	7,165	20,061
X5A	38350896,78	0,12095	7,646	21,409	Y4C	159742466,41	0,16922	7,165	20,061
X6A	36844526,80	0,11619	7,346	20,568	Y4D	105508,46	0,00011	0,005	0,013
X7A	3440403,27	0,01085	0,686	1,921	Y5A	93011650,60	0,09853	4,172	11,681
X7B	6308747,95	0,01990	1,258	3,522	Y5B	19410913,24	0,02056	0,871	2,438
X7C	30171043,09	0,09515	6,015	16,843	Y5C	34039497,31	0,03606	1,527	4,275
X8A	107362,36	0,00034	0,021	0,060	Y5D	120206529,03	0,12734	5,391	15,096
X8B	193011,57	0,00061	0,038	0,108					
X8C	31309045,68	0,09874	6,242	17,478					
X8D	386985,57	0,00122	0,077	0,216					
Soma	317092572,79				Soma	943971924,26			

Tabela 45 - Esforços devido às ações horizontais nas direções Y e X no oitavo pavimento do Projeto 4

Parede	Inércia em y	$IY_i / \sum Iy_i$	Força (KN)	Momento (KN.m)	Parede	Inércia em x	$IX_i / \sum Ix_i$	Força (KN)	Momento (KN.m)
X1A	1921700,33	0,00190	0,081	0,227	Y1A	71906741,84	0,09682	6,792	19,018
X1B	3244699,39	0,00321	0,137	0,383	Y1B	98930,59	0,00013	0,009	0,026
X1C	91069,73	0,00009	0,004	0,011	Y1C	72482218,63	0,09760	6,846	19,170
X2A	25766078,67	0,02548	1,087	3,043	Y2A	6182535,61	0,00832	0,584	1,635
X3A	24362072,28	0,02410	1,028	2,877	Y2B	98947,41	0,00013	0,009	0,026
X3B	22244330,72	0,02200	0,938	2,627	Y2C	160147728,33	0,21564	15,127	42,356
X4A	296892986,50	0,29365	12,524	35,067	Y3A	33710524,24	0,04539	3,184	8,916
X5A	98947,41	0,00010	0,004	0,012	Y3B	7304938,27	0,00984	0,690	1,932
X6A	261801814,01	0,25894	11,044	30,922	Y3C	2030843,66	0,00273	0,192	0,537
X7A	98947,41	0,00010	0,004	0,012	Y4A	11452942,67	0,01542	1,082	3,029
X8A	296892986,50	0,29365	12,524	35,067	Y4B	27210,17	0,00004	0,003	0,007
X9A	24362072,28	0,02410	1,028	2,877	Y5A	7300318,17	0,00983	0,690	1,931
X9B	22244330,72	0,02200	0,938	2,627	Y5B	25304897,74	0,03407	2,390	6,693
X10A	25766078,67	0,02548	1,087	3,043	Y6A	6182535,61	0,00832	0,584	1,635
X11A	1921700,33	0,00190	0,081	0,227	Y6B	98947,41	0,00013	0,009	0,026
X11B	3244699,39	0,00321	0,137	0,383	Y6C	33710524,24	0,04539	3,184	8,916
X11C	91069,73	0,00009	0,004	0,011	Y7A	98930,59	0,00013	0,009	0,026
					Y8A	71906741,84	0,09682	6,792	19,018
					Y8B	72482218,63	0,09760	6,846	19,170
					Y8C	160147728,33	0,21564	15,127	42,356
Soma	1011045584,11				Soma	742676403,96			

Tabela 46 - Esforços devido às ações horizontais nas direções Y e X no oitavo pavimento do Projeto 5

Parede	Inércia em y	$IY_i / \sum Iy_i$	Força (KN)	Momento (KN.m)	Parede	Inércia em x	$IX_i / \sum Ix_i$	Força (KN)	Momento (KN.m)
X1A	37296680,00	0,05574	2,886	8,080	Y1A	6404667,80	0,00423	0,220	0,616
X1B	25438433,74	0,03802	1,968	5,511	Y1B	206890113,99	0,13671	7,104	19,890
X2A	98947,41	0,00015	0,008	0,021	Y1C	206890113,99	0,13671	7,104	19,890
X2B	193011,57	0,00029	0,015	0,042	Y1D	6404667,80	0,00423	0,220	0,616
X2C	133145,11	0,00020	0,010	0,029	Y2A	47908271,12	0,03166	1,645	4,606
X2D	133145,11	0,00020	0,010	0,029	Y2B	221209,33	0,00015	0,008	0,021
X2E	193011,57	0,00029	0,015	0,042	Y2C	202916,00	0,00013	0,007	0,020
X2F	98947,41	0,00015	0,008	0,021	Y2D	202916,00	0,00013	0,007	0,020
X3A	11241180,19	0,01680	0,870	2,435	Y2E	221209,33	0,00015	0,008	0,021
X3B	202916,00	0,00030	0,016	0,044	Y2F	47908271,12	0,03166	1,645	4,606
X3C	11241180,19	0,01680	0,870	2,435	Y3A	123858,79	0,00008	0,004	0,012
X4A	24834682,65	0,03711	1,922	5,380	Y3B	123858,79	0,00008	0,004	0,012
X4B	24834682,65	0,03711	1,922	5,380	Y4A	803547,91	0,00053	0,028	0,077
X5A	238220129,98	0,35601	18,432	51,609	Y4B	803547,91	0,00053	0,028	0,077
X5B	238220129,98	0,35601	18,432	51,609	Y5A	32599081,25	0,02154	1,119	3,134
X6A	3440403,27	0,00514	0,266	0,745	Y5B	32599081,25	0,02154	1,119	3,134
X6B	20937853,91	0,03129	1,620	4,536	Y6A	78777153,06	0,05205	2,705	7,574
X6C	20937853,91	0,03129	1,620	4,536	Y6B	765495441,17	0,50583	26,284	73,594
X6D	3440403,27	0,00514	0,266	0,745	Y6C	78777153,06	0,05205	2,705	7,574
X7A	1027420,97	0,00154	0,079	0,223					
X7B	5955730,67	0,00890	0,461	1,290					
X7C	1027420,97	0,00154	0,079	0,223					
Soma	669147310,53				Soma	1513357079,67			

APÊNDICE H – Dimensionamento ao cisalhamento do primeiro pavimento para cada um dos cinco projetos analisados

Tabela 47 – Dimensionamento ao cisalhamento para o primeiro pavimento do Projeto 1

Parede	td(KN/m²)	fvd(KN/m²)	Verificação
X1A	4,67	206,41	OK
X1B	2,59	225,28	OK
X1C	1,32	210,03	OK
X1D	2,59	225,28	OK
X1E	4,67	206,41	OK
X2A	10,18	225,28	OK
X2B	10,18	225,28	OK
X3A	59,76	206,41	OK
X3B	59,76	206,41	OK
X4A	100,22	221,22	OK
X4B	100,22	221,22	OK
X5A	53,24	226,94	OK
X5B	53,24	226,94	OK
X6A	46,87	212,15	OK
X6B	46,87	212,15	OK
X7A	67,12	212,15	OK
X7B	67,12	212,15	OK
Y1A	21,54	225,28	OK
Y1B	21,54	225,28	OK
Y2A	62,80	206,41	OK
Y2B	62,80	206,41	OK
Y3A	22,90	221,22	OK
Y3B	22,90	221,22	OK
Y4A	11,71	221,22	OK
Y4B	11,71	221,22	OK
Y5A	4,52	226,94	OK
Y5B	0,64	226,94	OK
Y5C	0,64	226,94	OK
Y5D	4,52	226,94	OK
Y6A	313,75	210,03	NÃO OK
Y7A	80,39	212,15	OK
Y7B	80,39	212,15	OK

Tabela 48 – Dimensionamento ao cisalhamento para o primeiro pavimento dos Projetos2 e 3

Parede	td(KN/m2)	fvd(KN/m2)	Verificação	Parede	td(KN/m2)	fvd(KN/m2)	Verificação
X1A	151,56	211,34	OK	X1A	9,71	192,02	OK
X1B	126,47	211,34	OK	X1B	154,78	227,50	OK
X2A	101,83	211,34	OK	X1C	4,93	285,78	OK
X2B	101,83	211,34	OK	X1D	4,16	200,19	OK
X3A	16,15	195,18	OK	X2A	164,13	207,39	OK
X3B	160,03	231,54	OK	X2B	55,13	200,19	OK
X3C	160,03	231,54	OK	X2C	115,16	222,50	OK
X3D	16,15	195,18	OK	X2D	40,88	205,39	OK
X4A	141,38	195,18	OK	X3A	200,44	192,02	NÃO OK
X4B	141,38	195,18	OK	X4A	208,63	205,39	NÃO OK
X5A	156,31	238,27	OK	X5A	208,63	205,39	NÃO OK
X5B	156,31	238,27	OK	X6A	200,44	192,02	NÃO OK
X6A	76,99	218,11	OK	X7A	40,88	205,39	OK
X6B	4,97	203,37	OK	X7B	17,66	207,39	OK
X6C	76,99	218,11	OK	X7C	164,13	222,50	OK
X7A	3,52	195,18	OK	X8A	4,16	207,39	OK
X7B	12,70	238,27	OK	X8B	4,93	285,78	OK
X7C	16,22	218,11	OK	X8C	154,78	227,50	OK
X7D	12,70	203,37	OK	X8D	9,71	192,02	OK
X7E	16,22	218,11	OK	Y1A	41,77	227,50	OK
X7F	12,70	238,27	OK	Y1B	25,90	285,78	OK
X7G	3,52	195,18	OK	Y2A	94,43	192,02	OK
Y1A	100,64	211,34	OK	Y2B	0,95	192,02	OK
Y1B	100,64	211,34	OK	Y2C	81,44	200,19	OK
Y2A	0,68	231,54	OK	Y3A	0,89	205,39	OK
Y2B	1,33	231,54	OK	Y3B	0,89	205,39	OK
Y2C	1,33	231,54	OK	Y3C	55,68	205,39	OK
Y2D	0,68	231,54	OK	Y4A	55,68	205,39	OK
Y3A	0,28	195,18	OK	Y4B	134,10	207,39	OK
Y3B	0,28	195,18	OK	Y4C	134,10	222,50	OK
Y4A	100,98	195,18	OK	Y4D	0,95	192,02	OK
Y4B	51,60	238,27	OK	Y5A	81,44	207,39	OK
Y4C	18,83	218,11	OK	Y5B	25,90	285,78	OK
Y4D	139,42	203,37	OK	Y5C	41,77	227,50	OK
Y4E	18,83	218,11	OK	Y5D	94,43	192,02	OK
Y4F	51,60	238,27	OK				
Y4G	100,98	195,18	OK				

Tabela 49 – Dimensionamento ao cisalhamento para o primeiro pavimento dos Projetos 4 e 5

Parede	td(KN/m2)	fvd(KN/m2)	Verificação	Parede	td(KN/m2)	fvd(KN/m2)	Verificação
X1A	5,94	199,51	OK	X1A	72,95	223,58	OK
X1B	6,85	227,66	OK	X1B	57,19	223,15	OK
X1C	0,79	227,62	OK	X2A	1,53	205,52	OK
X2A	35,42	199,51	OK	X2B	1,92	230,69	OK
X3A	33,49	227,62	OK	X2C	2,00	223,58	OK
X3B	30,58	196,38	OK	X2D	2,00	223,15	OK
X4A	167,57	213,75	OK	X2E	1,92	230,69	OK
X5A	0,84	196,38	OK	X2F	1,53	184,50	OK
X6A	149,23	221,41	OK	X3A	33,99	223,58	OK
X7A	0,84	196,38	OK	X3B	1,98	190,14	OK
X8A	167,57	195,36	OK	X3C	33,99	223,15	OK
X9A	33,49	214,07	OK	X4A	62,52	184,50	OK
X9B	30,58	196,38	OK	X4B	62,52	184,50	OK
X10A	35,42	199,51	OK	X5A	270,11	205,52	NÃO OK
X11A	5,94	199,51	OK	X5B	270,11	205,52	NÃO OK
X11B	6,85	227,66	OK	X6A	15,88	205,52	OK
X11C	0,79	196,38	OK	X6B	44,24	203,38	OK
Y1A	149,23	199,51	OK	X6C	44,24	203,38	OK
Y1B	1,87	199,51	OK	X6D	15,88	205,52	OK
Y1C	141,28	227,66	OK	X7A	7,21	203,38	OK
Y2A	25,75	227,62	OK	X7B	18,22	190,14	OK
Y2B	1,87	227,62	OK	X7C	7,21	203,38	OK
Y2C	228,73	196,38	NÃO OK	Y1A	9,71	230,69	OK
Y3A	96,51	196,38	OK	Y1B	110,03	223,58	OK
Y3B	31,44	213,75	OK	Y1C	110,03	223,15	OK
Y3C	13,29	213,75	OK	Y1D	9,71	230,69	OK
Y4A	34,32	221,41	OK	Y2A	38,70	184,50	OK
Y4B	0,92	221,41	OK	Y2B	0,96	184,50	OK
Y5A	31,42	195,36	OK	Y2C	0,88	184,50	OK
Y5B	69,39	195,36	OK	Y2D	0,88	184,50	OK
Y6A	25,75	214,07	OK	Y2E	0,96	184,50	OK
Y6B	1,87	214,07	OK	Y2F	38,70	184,50	OK
Y6C	96,51	196,38	OK	Y3A	0,85	205,52	OK
Y7A	1,87	199,51	OK	Y3B	0,85	205,52	OK
Y8A	149,23	199,51	OK	Y4A	2,72	205,52	OK
Y8B	141,28	227,66	OK				
Y8C	228,73	196,38	NÃO OK				

APÊNDICE I – Dimensionamento à compressão na flexocompressão do primeiro pavimento para cada um dos cinco projetos analisados

Tabela 50 – Resultados para pontos de graute no primeiro pavimento do Projeto 2

Parede	i esquerda	ii esquerda	i direita	ii direita	verificação	Bordo Esquerdo	Bordo Direito	Bordo Esquerdo	Bordo Direito
X1A	1,21	1,51	1,54	2,05	NÃO OK	0,56	1,16	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X1B	1,46	1,93	1,15	1,40	NÃO OK	1,02	0,45	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X2A	1,01	1,17	1,39	1,80	NÃO OK	0,19	0,88	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X2B	1,39	1,80	1,01	1,17	NÃO OK	0,88	0,19	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X3A	0,70	0,73	0,87	1,02	NÃO OK		0,03		Graute a cada dois furos
X3B	1,65	2,15	1,50	1,91	NÃO OK	1,27	1,00	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X3C	1,50	1,91	1,65	2,15	NÃO OK	1,00	1,27	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X3D	0,87	1,02	0,70	0,73	NÃO OK	0,03		Graute a cada dois furos	
X4A	0,93	1,11	1,38	1,87	NÃO OK	0,12	0,96	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X4B	1,38	1,87	0,93	1,11	NÃO OK	0,96	0,12	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X5A	1,33	1,58	1,71	2,20	NÃO OK	0,64	1,33	Graute a cada dois furos	Graute em todos os furos
X5B	1,71	2,20	1,33	1,58	NÃO OK	1,33	0,64	Graute em todos os furos	Graute a cada dois furos
X6A	0,76	0,74	0,84	0,87	OK				
X6B	0,78	0,83	0,78	0,83	OK				
X6C	0,84	0,87	0,76	0,74	OK				
X7A	0,64	0,63	0,72	0,76	OK				
X7B	1,10	1,19	1,10	1,19	NÃO OK	0,21	0,21	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X7C	1,01	1,17	0,91	0,99	NÃO OK	0,18		Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X7D	0,89	1,01	0,89	1,01	NÃO OK	0,01	0,01	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X7E	0,91	0,99	1,01	1,17	NÃO OK		0,18		Graute a cada dois furos
X7F	1,10	1,19	1,10	1,19	NÃO OK	0,21	0,21	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X7G	0,72	0,76	0,64	0,63	OK				
Y1A	0,89	0,97	0,90	0,99	OK				
Y1B	0,89	0,97	0,90	0,99	OK				
Y2A	0,81	0,76	0,80	0,73	OK				
Y2B	0,82	0,78	0,80	0,74	OK				
Y2C	0,82	0,78	0,80	0,74	OK				
Y2D	0,81	0,76	0,80	0,73	OK				
Y3A	0,59	0,55	0,59	0,56	OK				
Y3B	0,59	0,55	0,59	0,56	OK				
Y4A	0,79	0,89	0,85	0,98	OK				
Y4B	0,98	0,99	0,98	0,99	OK				
Y4C	0,81	0,82	0,78	0,77	OK				
Y4D	0,96	1,13	0,89	1,01	NÃO OK	0,93		Graute a cada dois furos	
Y4E	0,81	0,82	0,78	0,77	OK				
Y4F	0,98	0,99	0,98	0,99	OK				
Y4G	0,79	0,89	0,85	0,98	OK				

Tabela 51 – Resultados para pontos de graute no primeiro pavimento do Projeto 3

Parede	i esquerda	ii esquerda	i direita	ii direita	verificação	Bordo Esquerdo	Bordo Direito	Bordo Esquerdo	Bordo Direito
X1A	0,4903	0,5075	0,6016	0,92	OK				
X1B	1,1087	1,4111	1,3017	2,31	NÃO OK	0,87	1,29	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X1C	0,9639	0,9550	0,9611	1,27	NÃO OK				
X1D	0,5756	0,6167	0,5078	0,67	OK				
X2A	0,9310	1,1787	1,2019	2,17	NÃO OK	0,56	1,16	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X2B	0,7348	0,8821	0,8970	1,54	NÃO OK	0,17	0,53	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X2C	1,1898	1,5589	1,1626	2,02	NÃO OK	1,06	1,00	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X2D	0,8395	1,0410	0,6456	0,96	NÃO OK				
X3A	0,8657	1,1332	1,1174	2,07	NÃO OK	0,50	1,05	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X4A	0,9301	1,1920	1,1720	2,13	NÃO OK	0,58	1,11	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X5A	1,1720	1,5951	0,9301	1,59	NÃO OK	1,11	0,58	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X6A	1,1174	1,5526	0,8657	1,73	NÃO OK	1,05	0,50	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X7A	0,6456	0,7179	0,8395	1,39	NÃO OK				
X7B	1,6594	2,3926	1,5475	2,94	NÃO OK	2,16	1,91	Graute em todos os furos	Graute em todos os furos
X7C	1,2659	1,6859	0,9950	1,65	NÃO OK	1,23	0,64	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X8A	0,5436	0,5329	0,6113	0,86	OK				
X8B	0,9611	0,9504	0,9639	1,27	NÃO OK	0,46	0,47	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X8C	1,3017	1,7328	1,1087	1,88	NÃO OK	1,29	0,87	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X8D	0,6016	0,6930	0,4903	0,90	NÃO OK				
Y1A	0,6670	0,6750	0,7475	1,08	NÃO OK		0,34		Graute a cada dois furos
Y1B	0,9432	0,9205	0,9754	1,30	NÃO OK	1,88	2,19	Graute em todos os furos	Graute em todos os furos
Y2A	0,6361	0,7504	0,6097	0,94	NÃO OK	0,00	0,00	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
Y2B	0,4479	0,4367	0,4323	0,55	OK				
Y2C	0,6716	0,7768	0,6112	0,90	NÃO OK	0,16	0,00	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
Y3A	0,5069	0,4867	0,4922	0,62	OK				
Y3B	0,4922	0,4622	0,5069	0,65	OK				
Y3C	0,6061	0,6520	0,6144	0,89	OK				
Y4A	0,6144	0,6658	0,6061	0,87	OK				
Y4B	0,7089	0,8085	0,6608	0,97	NÃO OK	0,34	0,00	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
Y4C	0,7249	0,7841	0,7729	1,15	NÃO OK	0,20	0,67	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
Y4D	0,4323	0,4108	0,4479	0,80	OK				
Y5A	0,6469	0,7052	0,7073	1,07	NÃO OK	0,00	0,33	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
Y5B	0,9754	0,9742	0,9432	1,23	NÃO OK	2,19	1,88	Graute em todos os furos	Graute em todos os furos
Y5C	0,7475	0,8091	0,6670	0,90	NÃO OK	0,34		Graute a cada dois furos	
Y5D	0,6097	0,7064	0,6361	1,22	NÃO OK	0,00	0,00	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos

Tabela 52 – Resultados para pontos de graute no primeiro pavimento do Projeto 4

Parede	i esquerda	ii esquerda	i direita	ii direita	verificação	Bordo Esquerdo	Bordo Direito	Bordo Esquerdo	Bordo Direito
X1A	0,6406	0,6221	0,6890	0,7028	OK				
X1B	0,8678	0,8667	0,8481	0,8338	OK				
X1C	0,8015	0,7547	0,7839	0,7253	OK				
X2A	0,7026	0,7254	0,7767	0,8491	OK				
X3A	0,8746	0,8764	0,9381	0,9822	OK				
X3B	0,7566	0,8221	0,7002	0,7281	OK				
X4A	1,0295	1,1872	1,0307	1,1891	NÃO OK	0,8699	0,8788	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X5A	0,6063	0,5715	0,6246	0,6021	OK				
X6A	0,9889	1,0910	1,1412	1,3448	NÃO OK	0,4227	1,6025	Graute a cada dois furos	Graute em todos os furos
X7A	0,6063	0,5715	0,6246	0,6021	OK				
X8A	0,9206	1,0943	0,9218	1,0962	NÃO OK	0,4384	0,4473	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X9A	0,7918	0,8067	0,8553	0,9125	OK				
X9B	0,7566	0,8221	0,7002	0,7281	OK				
X10A	0,7026	0,7254	0,7767	0,8491	OK				
X11A	0,6406	0,6221	0,6890	0,7028	OK				
X11B	0,8678	0,8667	0,8481	0,8338	OK				
X11C	0,6236	0,6004	0,6060	0,5711	OK				
Y1A	1,0346	1,2788	1,0666	1,3322	NÃO OK	0,5796	0,6907	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
Y1B	0,6332	0,6099	0,6743	0,6784	OK				
Y1C	1,1219	1,2902	1,3678	1,7000	NÃO OK	0,6033	1,4554	Graute a cada dois furos	Graute em todos os furos
Y2A	0,9427	0,9899	1,0446	1,1597	NÃO OK		0,3320		Graute a cada dois furos
Y2B	0,8410	0,8205	0,7999	0,7520	OK				
Y2C	1,3065	1,7386	1,1762	1,5215	NÃO OK	1,5356	1,0842	Graute em todos os furos	Graute a cada dois furos
Y3A	0,8098	0,9107	1,0237	1,2672	NÃO OK		0,5555		Graute a cada dois furos
Y3B	0,8463	0,8818	0,9867	1,1159	NÃO OK		0,2410		Graute a cada dois furos
Y3C	0,7969	0,7995	0,8889	0,9529	OK				
Y4A	1,0485	1,1903	1,0485	1,1903	NÃO OK	0,3956	0,3956	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
Y4B	0,7671	0,7213	0,7671	0,7213	OK				
Y5A	0,8778	1,0229	0,7375	0,7891	NÃO OK	0,0476		Graute a cada dois furos	
Y5B	1,0131	1,2485	0,8469	0,9715	NÃO OK	0,5167		Graute a cada dois furos	
Y6A	0,9618	1,0900	0,8599	0,9202	NÃO OK	0,1871		Graute a cada dois furos	
Y6B	0,7172	0,6823	0,7583	0,7508	OK				
Y6C	1,0237	1,2672	0,8098	0,9107	NÃO OK	0,5555		Graute a cada dois furos	
Y7A	0,6743	0,6784	0,6332	0,6099	OK				
Y8A	1,0666	1,3322	1,0346	1,2788	NÃO OK	0,6907	0,5796	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos

Tabela 53 – Resultados para pontos de graute no primeiro pavimento do Projeto 5

Parede	i esquerda	ii esquerda	i direita	ii direita	verificação	Bordo Esquerdo	Bordo Direito	Bordo Esquerdo	Bordo Direito
X1A	1,01	1,10	1,15	1,34	NÃO OK	0,2563	0,8631	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X1B	1,10	1,26	0,97	1,03	NÃO OK	0,6692	0,0880	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X2A	0,67	0,64	0,71	0,69	OK				
X2B	0,83	0,82	0,83	0,81	OK				
X2C	0,82	0,79	0,78	0,73	OK				
X2D	0,78	0,72	0,82	0,79	OK				
X2E	0,83	0,81	0,83	0,82	OK				
X2F	0,58	0,58	0,54	0,53	OK				
X3A	0,90	0,93	1,03	1,14	NÃO OK		0,3452		Graute a cada dois furos
X3B	0,63	0,63	0,63	0,63	OK				
X3C	1,02	1,13	0,90	0,93	NÃO OK	0,3391		Graute a cada dois furos	
X4A	0,71	0,81	0,82	0,99	OK				
X4B	0,82	0,99	0,71	0,81	OK				
X5A	1,14	1,42	1,26	1,61	NÃO OK	1,0548	1,5412	Graute a cada dois furos	Graute em todos os furos
X5B	1,26	1,61	1,14	1,42	NÃO OK	1,5412	1,0548	Graute em todos os furos	Graute a cada dois furos
X6A	0,73	0,74	0,83	0,91	OK				
X6B	0,90	1,02	0,97	1,13	NÃO OK	0,0513	0,3414	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X6C	0,97	1,13	0,90	1,02	NÃO OK	0,3414	0,0513	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
X6D	0,83	0,91	0,73	0,74	OK			Graute a cada dois furos	
X7A	0,69	0,67	0,76	0,80	OK				
X7B	0,77	0,86	0,77	0,86	OK				
X7C	0,76	0,80	0,69	0,67	OK				
Y1A	0,83	0,82	0,86	0,87	OK				
Y1B	0,99	1,08	0,99	1,07	NÃO OK	0,4530	0,3978	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
Y1C	0,99	1,08	0,98	1,07	NÃO OK	0,4392	0,3840	Graute a cada dois furos	Graute a cada dois furos
Y1D	0,83	0,82	0,86	0,87	OK				
Y2A	0,69	0,77	0,65	0,71	OK				
Y2B	0,55	0,54	0,55	0,54	OK				
Y2C	0,55	0,54	0,55	0,54	OK				
Y2D	0,55	0,54	0,55	0,54	OK				
Y2E	0,55	0,54	0,55	0,54	OK				
Y2F	0,69	0,77	0,65	0,71	OK				
Y3A	0,68	0,64	0,66	0,61	OK				
Y3B	0,68	0,64	0,66	0,61	OK				
Y4A	0,67	0,63	0,70	0,68	OK				
Y4B	0,67	0,63	0,70	0,68	OK				
Y5A	0,78	0,81	0,76	0,78	OK				
Y5B	0,78	0,81	0,76	0,78	OK				
Y6A	0,76	0,80	0,81	0,88	OK				
Y6B	0,99	1,23	0,90	1,08	NÃO OK	1,3422	0,4336	Graute em todos os furos	Graute a cada dois furos
Y6C	0,76	0,80	0,81	0,88	OK				