

Análise Computacional e Experimental do Nível de Segurança de Obras Residenciais Realizadas Fora dos Padrões Normativos

Computational and Experimental Analysis of the Safety Level of Residential Constructions Performed Outside Normative Standards

Diego Ono dos Santos¹

Pedro Henrique Morais Rocha²

Victor Hugo Sande Duarte³

André Luís Gamino⁴

RESUMO

Muitas obras de concreto armado ainda são executadas sem a presença de profissional capacitado e em desconformidade com relação às recomendações normativas, como por exemplo, com o emprego de elementos estruturais com dimensões inferiores das mínimas exigidas e a utilização das alvenarias como forma de suporte para a estrutura de concreto. Consequentemente, os pórticos acabam se tornando extremamente flexíveis, com baixa rigidez e conectados às alvenarias, o que pode gerar, em alguns casos, a transferência total ou parcial dos esforços para os painéis de alvenaria abaixo das vigas, que em princípio, deveriam ter função apenas de vedação. Deste modo, este trabalho teve como objetivo o estudo das interações entre os elementos estruturais de concreto armado e alvenaria cerâmica de vedação em obras residenciais de até dois pavimentos em desconformidade às normas técnicas da ABNT. Em vista disso, foram feitas análises computacionais e experimentais com o intuito de avaliar como se dá o caminhamento de cargas neste sistema estrutural. Para tanto, utilizou-se o software SAP2000, onde foram simuladas as rigidezes dos elementos com dimensões em desconformidade com as normas e, desta maneira, foi possível observar que, devido à grande deformação, foram transferidas tensões às alvenarias de vedação. Para verificar qual o nível de segurança dessa forma de edificação, foi feito o estudo de um modelo de sobrado unifamiliar utilizando-se o *software* TQS, que em primeiro momento foi realizado em concreto armado e nas conformidades das normas ABNT, com o intuito de demonstrar que os valores mínimos prescritos pela NBR 6118 (2014) são suficientes para garantir a segurança da edificação. Em uma segunda situação, a construção foi efetuada em solução de alvenaria estrutural, entretanto, com a utilização de blocos de vedação cerâmicos em detrimento do bloco estrutural, com a finalidade de obter os esforços máximos atuantes nas alvenarias e compará-los com a resistência encontrada via ensaio de caracterização dos blocos cerâmicos de vedação e com a resistência mínima de compressão exigida pela NBR 15812-1 (2010). Os resultados indicaram que o coeficiente de ponderação das resistências da alvenaria não foi atingido em nenhuma das situações. Portanto, uma vez que tal coeficiente não tenha sido alcançado a construção não pode ser considerada segura.

¹ Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

² Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

³ Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

⁴ Engenheiro Civil, Professor Doutor do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

Além disso, outro agravante é o fato deste tipo de construção geralmente não ser projetada e executada por profissional capacitado e, desta forma, não há garantia de sua segurança.

Palavras-Chave: bloco cerâmico, alvenaria de vedação, análise estrutural, interação alvenaria e estrutura.

ABSTRACT

Most of the reinforced concrete works are still performed without the presence of a qualified professional and in non-compliance with the normative recommendations, such as the use of structural elements with dimensions below the minimum required and the use of masonry as a support for concrete structures. As a result, the gantry ends up becoming extremely flexible, with low rigidity and connected to the masonry, which in some cases, may lead to partial or total transfer of stresses to the below-beam masonry panels, whose function is only sealing. Thus, this study aimed to analyze the interactions between the structural elements of reinforced concrete and sealing ceramic masonry in residential works of up to two floors in violation of ABNT technical standards. According to this, computational and experimental analysis were made in order to evaluate how the load shifting occurs in this structural system. For this purpose, the SAP2000 software was used, where the rigidity of the elements with dimensions not conforming to the standards were simulated and, therefore, it was possible to observe that due to the large deformation, stresses were transferred to the sealing masonry. To check the security level of this building, a study of a single-family residence was made using the TQS software, which was at first made of reinforced concrete and according to ABNT standards, in order to show that the minimum values prescribed by NBR 6118 (2014) are sufficient to ensure the safety of the building. In a second situation, the construction was made of structural masonry solution; however, due to the use of ceramic sealing blocks instead of the structural block in order to obtain the maximum efforts acting on the masonry and to compare them with the resistance found through characterization test of ceramic sealing blocks and with the minimum compressive strength required by NBR 15812-1 (2010). The results showed that the masonry strength weighting coefficient was not reached in any of the situations. Therefore, once such a coefficient has not been reached the construction can not be considered safe. Moreover, another aggravating issue is the fact that this kind of construction is not generally designed and performed by a qualified professional, and therefore there is no guarantee of its safety

Keywords: Ceramic Block; Sealing masonry; Structural Analysis; Masonry and Structure Interaction.

Introdução

Segundo pesquisa divulgada pelo Datafolha em 2015, mais de 80% dos brasileiros fazem obras residenciais sem a contratação de engenheiro ou arquiteto; essas construções são feitas sem embasamentos técnicos e normativos, podendo ocasionar acidentes graves.

Segundo Souza apud Santiago (2014), na maioria dos casos de acidentes ocorridos no Brasil, alguns dos fatores observados foram: concepção estrutural errônea, traço inadequado para o concreto estrutural, construção de outros pavimentos ou elementos não previstos e falta de orientação profissional.

Para evitar que tais tipos de acidentes ocorram é fundamental que, além do acompanhamento de um engenheiro ou arquiteto, a elaboração do projeto e a execução da obra também sejam embasados em conhecimentos técnicos consolidados, os quais podem ser obtidos através das normas técnicas relacionadas ao tema em questão.

Para obras residenciais as principais normas a serem utilizadas tanto para elaboração dos projetos, como para a execução, são as normas da ABNT. Como principais, tem-se a NBR 6118 (2014), a qual trata sobre elaboração do projeto estrutural de concreto armado, a NBR 15812 (2010), norma referente a elaboração do projeto de alvenaria estrutural, entre outras normas que apresentam diretrizes relacionadas aos materiais empregados, procedimentos de execução e de outros temas. Entretanto, é comum observar principalmente em obras residenciais de pequeno porte o total descumprimento das normas técnicas, tanto na fase de projeto como de execução.

Construções fora dos padrões normativos tem como principais características, segundo Carvalho (2017), o emprego de elementos estruturais de concreto armado com dimensões inferiores às mínimas exigidas por norma e ausência de verificações exatas dos Estados Limites de Serviço (ELS) e Estados Limites Últimos (ELU), além da utilização da própria alvenaria cerâmica de vedação como forma e escoramento no processo executivo de vigas e pilares.

Com isso, a qualidade final, segurança e confiabilidade do sistema são totalmente comprometidos, pois tais construções não são embasadas em conhecimentos consolidados, como os descritos nas normas técnicas.

Entretanto, existem diversas edificações no Brasil executadas dessa forma e, sendo assim, é importante investigar como se dá o real funcionamento desse sistema estrutural e qual o nível de segurança do mesmo, quando aplicado em edificações de até dois pavimentos.

Portanto, objetivo deste estudo foi analisar o nível de segurança de residências de até dois pavimentos realizadas fora das exigências normativas na situação específica em que o bloco de vedação é utilizado como elemento portante, por meio de análise computacional, com auxílio do software SAP2000 e análise experimental, através de ensaios de compressão axial dos blocos cerâmicos.

Materiais

Ensaio de Compressão Axial do Bloco Cerâmico

A lista de materiais utilizados no ensaio contém: 20 blocos cerâmicos com 8 furos; cimento tipo CP2; paquímetro com sensibilidade mínima de 0,05 mm; régua metálica com sensibilidade mínima de 0,05 mm; balança, lona plástica e óleo mineral, colher de pedreiro e espátula.

A respeito da máquina que foi utilizada para o ensaio, seu modelo é o P.C.E 100 C. A capacidade nominal do equipamento é de 1000 kN, o acionamento é hidráulico através de bomba elétrica. Em relação às características técnicas do equipamento: Altura (min/máx) - 830/1000 mm, Largura - 650 mm, Profundidade - 350 mm, Peso - 320 kgf, Altura útil de ensaio - de 200 á 360 mm, Distância entre colunas - 260 mm, Pressão de trabalho - 315 kgf/cm² a 100 tf, Curso máximo do pistão - 25 mm, Alimentação elétrica - 220 Vac, Potência máxima - 800 W.

Análise Computacional

Para análise computacional foram usados os *softwares* SAP2000 e CAD/TQS. Estes utilizam o Método dos Elementos Finitos como procedimento numérico para obtenções de resultados.

Para lançamento das estruturas foi utilizada a planta de um sobrado unifamiliar, como mostra a Figura 1 abaixo:

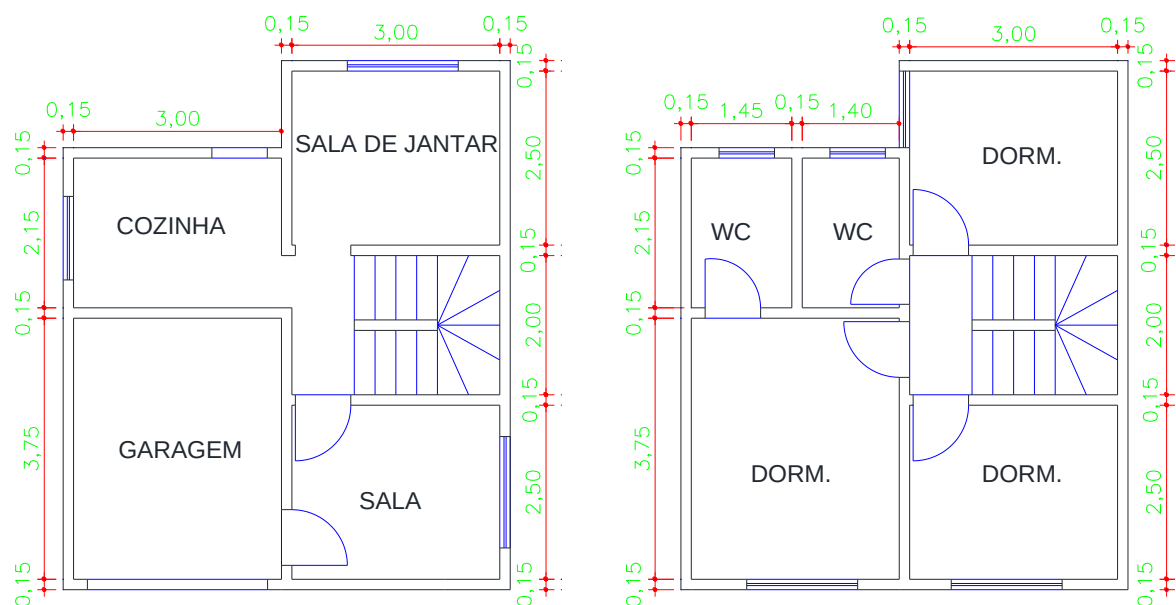


Figura 1 - Planta baixa do sobrado unifamiliar (Sem escala). Fonte: autores.

Software SAP2000

O SAP2000 (*Structural Analysis Program*) é um programa de análise tridimensional de estruturas, baseado no Método dos Elementos Finitos (MEF) que possibilita a utilização de análises lineares e não-lineares estáticas e dinâmicas. Permite assim, calcular deslocamento, tensões, ruptura e elementos de dimensões variadas, podendo adicionar materiais e cargas e gradientes térmicos de modo preciso e rápido (FALDÃO; DUTRA, 2015).

Com o SAP2000 é possível fazer o dimensionamento de pontes, edifícios, estádios, barragens, estruturas marítimas, entre outras edificações que necessitam de análise e dimensionamento

Software CAD/TQS

O programa CAD/TQS foi criado pela empresa TQS informática Ltda. O seu desenvolvimento vem ocorrendo desde sua criação em 1986, o principal campo de atuação é o de elaboração de softwares para estruturas em concreto armado, protendido, pré-moldado e alvenaria estrutural.

O software permite o cálculo de elementos estruturais, tais como laje, viga, pilar e fundações. O CAD/TQS fornece resultados como esforços, deslocamentos, flechas, assim como dimensionamento e detalhamento das armaduras

Métodos

Ensaio de Compressão Axial do Bloco Cerâmico

Para a realização do ensaio de compressão axial foi utilizada a NBR 15270-3 (2017), que diz respeito ao método de ensaio de blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação.

Inicialmente mediu-se os valores de Largura (L), Altura (H), e Comprimento (C) para cada um dos blocos, posteriormente foram calculadas a área de cada bloco e por fim, os blocos foram numerados para posterior identificação.

Segundo a Norma NBR 15270-3 (2017) é necessário a utilização de pastas de cimento para regularização das faces de trabalho, o capeamento realizado não deve exceder 3 mm de espessura.

Assim, próxima etapa se deu pela aplicação e nivelamento da pasta cimentícia sobre os blocos de forma a não exceder os 3mm de espessura prescritos por norma. O processo se repetiu para os demais blocos, e após um dia secando, refez-se o método para todos os 20 blocos cerâmicos. Passado mais um dia de secagem, os mesmos foram imersos em água por um período de 10 horas.

Em relação a prensa, esta deve ser regulada para que a tensão aplicada, calculada em relação a área bruta se eleve progressivamente à razão de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s. O tempo necessário para o rompimento do bloco foi medido através de um cronômetro, e o mesmo foi acionado assim que o medidor de força exercida pela máquina começou a movimentar, o cronômetro foi parado assim que o bloco apresentou ruptura e anotou-se a força exercida pela máquina ao final da contagem e também o tempo necessário para tal.

O processo se repetiu até que todos os blocos fossem ensaiados e anotados todos os tempos necessários e a resistência apresentada por cada bloco, para posterior análise dos resultados obtidos.

Demonstração conceitual de levantamento de cargas via SAP2000

Com o intuito de introduzir alguns conceitos referentes as interações entre as deformações de estruturas em concreto e seu efeito na alvenaria, foram informados os procedimentos para utilização do software SAP2000, onde será analisado a diferença entre o comportamento das cargas, levando em conta, ou não, a presença da alvenaria cerâmica em conjunto com o pórtico.

Para o lançamento da estrutura no programa serão adotados alguns parâmetros:

- Peso Próprio da Laje: 200 kgf/m² (peso final de uma laje treliçada com 12 cm de altura);
- Carga Permanente: 100 kgf/m² (piso);
- Ação Variável Principal: 150 kgf/m² (carga accidental por norma de uma casa, sem contar peso próprio da viga);
- Pilares: Largura de 19 cm; Comprimento de 19 cm e Altura de 300 cm. Foram postos dois pilares com distância de 500 cm, simulando o conjunto parede. Em relação as vigas foram adotados 3 valores diferentes de altura: Viga 1 (19x20 cm); Viga 2 (19x40 cm); Viga 3 (19x60 cm);
- Concreto: foi utilizado concreto C25, com módulo de elasticidade de 28.000 MPa (Levantado a partir da NBR 6118, 2014), que foi aplicado a todos os pilares e vigas;
- Para o Módulo de Elasticidade da Parede o valor de f_{pk} adotado foi de 75 tf;
- Para a camada “Parede” - Módulo de Elasticidade de 2500000 tf;
- Coeficiente de Poisson (ν) foi atribuído o valor de 0,15 para material cerâmico,
- Carregamento distribuído aplicado foi de $(1.800 \text{ kgf} / 1000 = 1,8 \text{ tf/m})$;
- Os pilares foram articulados;

Por último anotou-se os valores obtidos de momento fletor, cargas transferidas para os pilares e das cargas transferidas para a parede, assim como a deformação da deformada (obtida em m).

Após a realização dos lançamentos e obtidos os resultados, foi feito um estudo de objetividade de malha no intuito de se garantir que os resultados advindos do lançamento no *software* possuem validação e estão dentre os valores cabíveis e pertinentes.

Estrutura em concreto armado

Para que houvesse segurança e conformidades de pré-dimensionamento, foi necessário se embasar na NBR 6118 (2014) e nas normas correlatas como a NBR 6120 (1980), NBR 6123 (1998), NBR 14860-1 (2002) e NBR 6122 (2010). É indispensável o uso de tais normas para que haja qualquer dimensionamento estrutural. É essencial o conhecimento dos conceitos apresentados e discurridos em tais normas, para um pré-dimensionamento correto, visto que o *software* necessita de valores de entrada para processar a estrutura e estes são necessariamente fornecidos pelo usuário.

Para dimensionamento e lançamento das estruturas, foi necessário que houvesse valores mínimos e aceitáveis de dimensões de pilares, vigas e laje no projeto estrutural, para tal, a NBR 6118 (2014) padroniza os respectivos valores.

Para o lançamento da estrutura, os valores foram:

- Classe 2 de agressividade ambiental;
- Resistência característica à compressão do concreto;
 - $f_{ck} = 25$ Mpa;
- Resistência característica de escoamento do aço;
 - $f_{yk} = 500$ MPa.
- Cobrimento utilizado;
 - $c = 3,0$ cm;
- Dimensões estruturais:
 - Lajes = 12 cm (Treliça de 8 cm e capa de concreto de 4 cm)
 - Vigas = 19x40 cm;
 - Pilares = 19x19 cm;
- Ações permanentes diretas:
 - Peso próprio das lajes, vigas, pilares e alvenaria de vedação.
 - Alvenaria de vedação com bloco cerâmico 14x19x19 (cm) com altura do pé direito de 2,7 m e platibanda equivalente a 0,80 cm.
 - Revestimento argamassado 21 (kN/m²), sendo espessura de 1 cm para duas faces do bloco de alvenaria cerâmica.
 - Pavimento superior com 0,7 kN/m².
- Ações variáveis diretas;
 - Efeito vento, embasado na NBR 6123 (1988);

- Cobertura, cuja ação variável principal é de $2,0 \text{ kN/m}^3$ extraída da NBR 6120 (1980);

Através do lançamento da planta arquitetônica, o CAD/TQS V21.3 permitiu que fossem usadas as ferramentas básicas para a implementação estrutural juntamente com as informações de pré-dimensionamento já estabelecidas, o modelo estrutural, assim como os critérios de cálculo, foi implementado no programa conforme os parâmetros de pré-dimensionamento. Importante também citar o uso da norma NBR 6118 (2014) que serviu de embasamento para que não houvesse nenhuma contradição ou conflito com parâmetros normativos.

O lançamento dos elementos estruturais foi executado através do modelador estrutural do *software*, com o pré-dimensionamento já definido, os elementos foram inseridos através de suas abas, os pilares foram inseridos, seguidos das vigas e lajes, sendo executado os mesmos procedimentos para o segundo pavimento do sobrado.

Com processamento concluído foi possível obter os valores das verificações de (ELS) como flechas em vigas, (ELS-W) para análise de fissuração em combinação frequente, flechas em lajes, assim como os esforços e deslocamentos.

Para verificação dos Estados limites (ELU e ELS), foi preciso que não houvesse nenhum erro que o programa detectasse como grave no processamento estrutural. Um processamento de qualidade garante a segurança e a confiabilidade nos resultados do pórtico.

Estrutura em alvenaria estrutural

Para o desenvolvimento deste trabalho, ao que se refere a alvenaria estrutural, foi utilizada a norma NBR 15812-1 (2010), de modo a garantir que as cargas atuantes nas paredes fossem determinadas de maneira correta. Em relação ao pré-dimensionamento, foram adotados blocos cerâmicos de vedação de $14 \times 19 \times 19 \text{ (cm)}$.

A NBR 15270-1 (2017) determina que a resistência à compressão (f_b) mínima para blocos de vedação seja de $1,5 \text{ MPa}$ quando utilizados com furos na horizontal e de $3,0 \text{ MPa}$ quando usados com furos na vertical (Tabela 1).

Desta forma, para o trabalho, foram adotados dois valores de resistência, um de 0,54 MPa referente ao ensaio de laboratório e outro com 1,5 MPa em conformidade com as exigências mínimas normativas.

Tabela 1 - Resistência à compressão (f_b) para blocos de vedação.

Posição dos furos	(MPa)
Para blocos usados com furos na horizontal (Figura 5)	$\geq 1,5$
Para blocos usados com furos na vertical (Figura 6)	$\geq 3,0$

Fonte: autores.

De acordo com Ramalho; Corrêa (2003), normalmente os valores da eficiência prisma-bloco, para a prática corrente no Brasil, variam de 0,5 a 0,9 para os blocos de concreto e de 0,3 a 0,6 no caso dos blocos cerâmicos. Portanto, foi adotado o coeficiente de 0,5. Deste modo, os valores adotados de 1,5 MPa e 0,54 MPa de resistência do bloco (f_b) teriam, respectivamente, 0,75 MPa e 0,27 MPa de resistência a compressão em situação de prisma (f_{pk}). Na Figura 2 é possível visualizar o valor de prisma do bloco de 1,5 MPa.

Material
 Projeto com referência a áreas e inércias: **Brutas** Material: **Cerâmico Vazado**
 "f_{pk}" de referência: 75 tf/m² Módulo de Elasticidade (deformação) Longitudinal: = 600 * f_p = 45000 tf/m²

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

Cargas acumuladas resultantes:
☐ Trecho mais crítico ☒ Média ☐ Coeficiente de ajuste de distribuição (CoefG) ?

Tab. de Coef. de ajuste de distribuição e "f_{pk}" de projeto ?

Piso	Pé-direito (m)	CoefG	f _{pk} (f _{bk})
02 Superior	2,70	1	75 (150)
01 Inferior	2,70	1	75 (150)

Cargas adicionais / Desaprumo (qx,y)

Cercas de separação, Juntas de dilatação e Coeficientes para ventos
☒ Não (Torre única sem juntas de dilatação) ☐ Em X ☐ Em Y
 Diagramas de separação de torres (avisos e erros) e análise estrutural (Pórtico TQS) com coeficientes Ax, Bx, Ay, By.
 Nota: O CAD/Alvest sempre ordenará os grupos da esquerda para direita (Ax -> Bx) e de baixo para cima (Ay -> By).

OK Cancelar

C:\TQS\Alv-Pratico\ESPACIAL\alv-pratico\CRIT_ALV.DAT - Edifício

Figura 2 – Definição do "f_{pk}" de referência. Fonte: autores.

Como mostrado anteriormente e ilustrado na Figura 1, o sobrado unifamiliar tem aproximadamente 45 m² de área por pavimento. Para o lançamento, primeiramente, a partir da janela “*Editor de dados do edifício*”, na aba “*Gerais*”, foram colocados dados básicos do edifício, como a sua identificação e também informações importantes, como o tipo de edificação e as normas que serão seguidas, no caso, respectivamente, alvenaria estrutural e NBR 15812-1 (2010).

A aba “*Pavimentos*” possibilita a entrada de dados inerentes ao edifício, como o pé direito, que teve valor adotado de 2,70 m e também o número de pavimentos, no caso 2. Na aba “*Cargas*” foram aplicadas as cargas do vento, as quais são calculadas pelo próprio programa seguindo a NBR 6123 (1988), fornecendo ao usuário a opção de escolha de fatores como: velocidade básica do vento, fator do terreno, categoria de rugosidade, classe da edificação e fator estatístico. Os valores adotados para as cargas, de acordo com a NBR 6123 (1988) foram:

- Velocidade básica do vento: 40 m/s (Isopletras da velocidade básica);
- Fator do terreno: 1,0 (terreno plano ou fracamente acidentado);
- Categoria de rugosidade: Categoria IV (Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada);
- Classe da edificação: Classe A (Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m);
- Fator estatístico: 1,0 (Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação);

Outro fator importante a se considerar está na aba “*Alvenaria*”, onde foi possível definir os critérios de cálculo, resistência, material e peso específico do bloco, tais dados foram calibrados pelo programa a partir da norma e do material escolhido, no caso, respectivamente, NBR 15812-1 (2010) e bloco cerâmico.

Na sequência, agora na janela “*Entrada Gráfica*”, que pode ser acessada a partir da opção “*TQS Alvest*”, foi possível a realização da modulação dos blocos de acordo com o projeto do edifício.

Após a modulação dos blocos, puderam ser incorporadas as aberturas de portas e janelas com auxílio da aba “*Porta/Janela*”.

Com ambos os pavimentos modulados e com suas aberturas posicionadas, foi possível a definição das cercas de parede, ou seja, estabelecer quais paredes tem função estrutural. Para este estudo todas as paredes foram consideradas estruturais.

Assim, o lançamento ficará como mostrado na Figura 3.

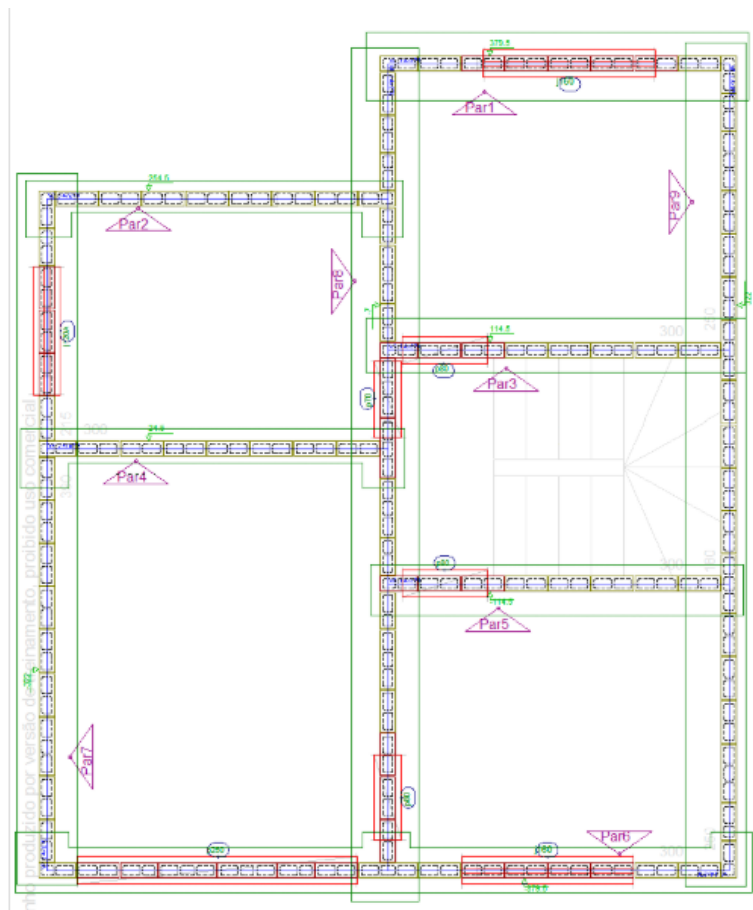


Figura 3 – Definição das paredes com função estrutural. Fonte: autores.

Por fim, puderam ser lançadas as lajes e definidas as cercas de subestruturas, ou seja, os conjuntos de trechos de parede, que compõem um conjunto estrutural resistente a esforços decorrentes das cargas verticais combinadas com as cargas horizontais da ação do vento.

Finalizada a etapa de lançamento de dados foi realizado o cálculo do edifício através do mecanismo “*Processamento Global*”, ou seja, foi possível obter os resultados das considerações e distribuições das cargas.

O processamento completo permite o cálculo de todo o edifício, com detalhamento e dimensionamento de todas as paredes.

Coeficiente de ponderação das alvenarias

O coeficiente de ponderação das resistências da alvenaria (γ_m) é um fator para verificação em ELU e de acordo com a NBR 15812-1 (2010), seu valor deve ser igual a 2,0. Como visto na Tabela 2:

Tabela 2 – Valores de γ_m

Combinações	Alvenaria	Graute	Aço
Normais	2	2	1,2
Especiais ou de construção	1,5	1,5	1,2
Excepcionais	1,5	1,5	1

Fonte: autores.

Desta forma, a partir dos resultados de prisma máximos fornecidos pelo TQS e pelos valores adotados de resistência de prisma do bloco, foi possível estimar o γ_m que a alvenaria possuía de acordo com o bloco utilizado.

É importante ressaltar que o valor máximo de prisma necessário para resistir as solicitações da edificação fornecido pelo programa é um valor característico e, portanto, foi necessário ter seu valor minorado para que fosse encontrado seu valor de cálculo. Assim:

$$f_d = \frac{f_{pk}}{\gamma_m}$$

Logo, o γ_m para cada situação de resistência do bloco foi calculado da seguinte forma:

$$\gamma_m = \frac{f_{pk}}{f_d}$$

Onde, o f_{pk} é o valor de resistência de prisma adotado de acordo com o bloco e o f_d é o valor de cálculo de prisma máximo fornecido pelo programa.

Desta maneira, foi possível estimar um nível de segurança da edificação de acordo com o valor de γ_m encontrado. Caso o γ_m atingisse valor igual ou maior que 2,0 a edificação estaria em conformidade com o coeficiente de ponderação das resistências da alvenaria.

Resultados e discussões

Ensaio de Compressão Axial do Bloco Cerâmico

Após a realização do ensaio de compressão axial foram anotados os resultados de carga aplicada para cada bloco, conforme mostrado na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3 – Resistência à compressão dos blocos cerâmicos ensaiados.

Nº Corpo de Prova	Carga Aplicada (kN)	Resistência à Compressão (MPa)
CP1	23,44	0,67*
CP2	20,76	0,59*
CP3	22,46	0,64
CP4	19,3	0,55*
CP5	24,14	0,68*
CP6	26,45	0,75
CP7	24,05	0,68
CP8	22,22	0,63
CP9	18,04	0,52
CP10	18,25	0,5
CP11	14,68	0,42*
CP12	30,15	0,84
CP13	20,16	0,57
CP14	19,64	0,56*
CP15	20,97	0,60*
CP16	15,82	0,44*
CP17	15,92	0,44
CP18	22,23	0,62
CP19	18,5	0,53
CP20	16,64	0,47*
Média	20,5463	0,54

Fonte: autores.

(*) Tais blocos apresentam desacordo com a norma em relação ao fator tempo, uma vez que o tempo de ruptura dos mesmos se mostrou menor que o mínimo aceitável para a realização e continuação do ensaio; sendo assim estes CP's não foram utilizados para o cálculo da média da resistência. Logo, para a obtenção do valor da média foram utilizados no total onze amostras.

Após a realização dos ensaios, concluiu-se que os blocos estudados estiveram em desacordo com a norma NBR 15270-3 (2017), uma vez que em nenhum dos

blocos ensaiados foi obtida resistência característica à compressão necessária exigida por norma de 1,5 MPa.

Lembrando-se que os corpos de prova foram ensaiados segundo velocidades de carregamento previstas em norma e que para os 11 blocos que passaram no ensaio em relação ao fator tempo foi constatada resistência média à compressão de 0,54 MPa.

Demonstração conceitual do estudo de cargas via SAP2000

Realizadas as etapas explicadas na parte de metodologia, os resultados obtidos foram organizados em formato de Tabela 4 como segue a seguir:

Tabela 4 – Levantamento de esforços atuantes, deformação e cargas para os quatro tipos de vigas propostos com a presença de alvenaria.

Viga (cm)	19x60	19x40	19x20	Sem parede
Momento Fletor (tf.m)	1,74	0,69	0,25	5,625
Carga Máxima (tf)	9	9	9	9
Carga Pilar 1 (tf)	2,36	1,76	1,23	4,5
Carga Parede (tf)	4,28	5,48	6,54	0
Carga Pilar 2 (tf)	2,36	1,76	1,23	4,5
% Carga destinada ao Pilar	52%	39%	27%	100%
% Carga destinada a Parede	48%	61%	73%	0%
A _s , Momento Pleno	3,39	5,72	Não dimensionável	-
A _s , detalhado	3 $\varnothing$ 12,5 mm	5 $\varnothing$ 12,5 mm	x	-
A _s , com Parede	1	0,63	0,52	-
A _s , detalhado	2 $\varnothing$ 8 mm	2 $\varnothing$ 6,3 mm	2 $\varnothing$ 6,3 mm	-

Fonte: autores.

Através dos resultados obtidos, pôde-se concluir que, com a inclusão da alvenaria em conjunto com o pórtico, quanto menor for a seção da viga então maior será a deformação apresentada, logo, maior será a porcentagem de momento a ser absorvida pela alvenaria, onde uma vez que os esforços existem são rebatidos e acabam por fim sendo concentrados em maior quantidade na alvenaria cerâmica. Observou-se também que conforme a altura da viga aumenta, sua armadura naturalmente aumenta, porém devido os esforços oriundos da viga, em especial o momento fletor, serem transmitidos (isso se deve ao fato da ocorrência de

descontinuidade do momento fletor da viga sobre o apoio, que motiva sua transmissão para o elemento no qual a viga se apoia, ou seja a parede cerâmica e os pilares) ocorre uma redução na armadura necessária, que por sua vez tornou o alojamento inferior quando comparado ao que deveria ser executado sem a presença da alvenaria no pórtico.

Estrutura em concreto armado

A planta de forma foi de extrema importância para discorrer sobre o presente trabalho, visto que todos elementos estruturais citados necessitam de um referencial de posicionamento, para melhor entendimento e localização dessas estruturas. A Figura 4 abaixo permite analisar a localização de lajes, vigas e pilares do presente estudo.

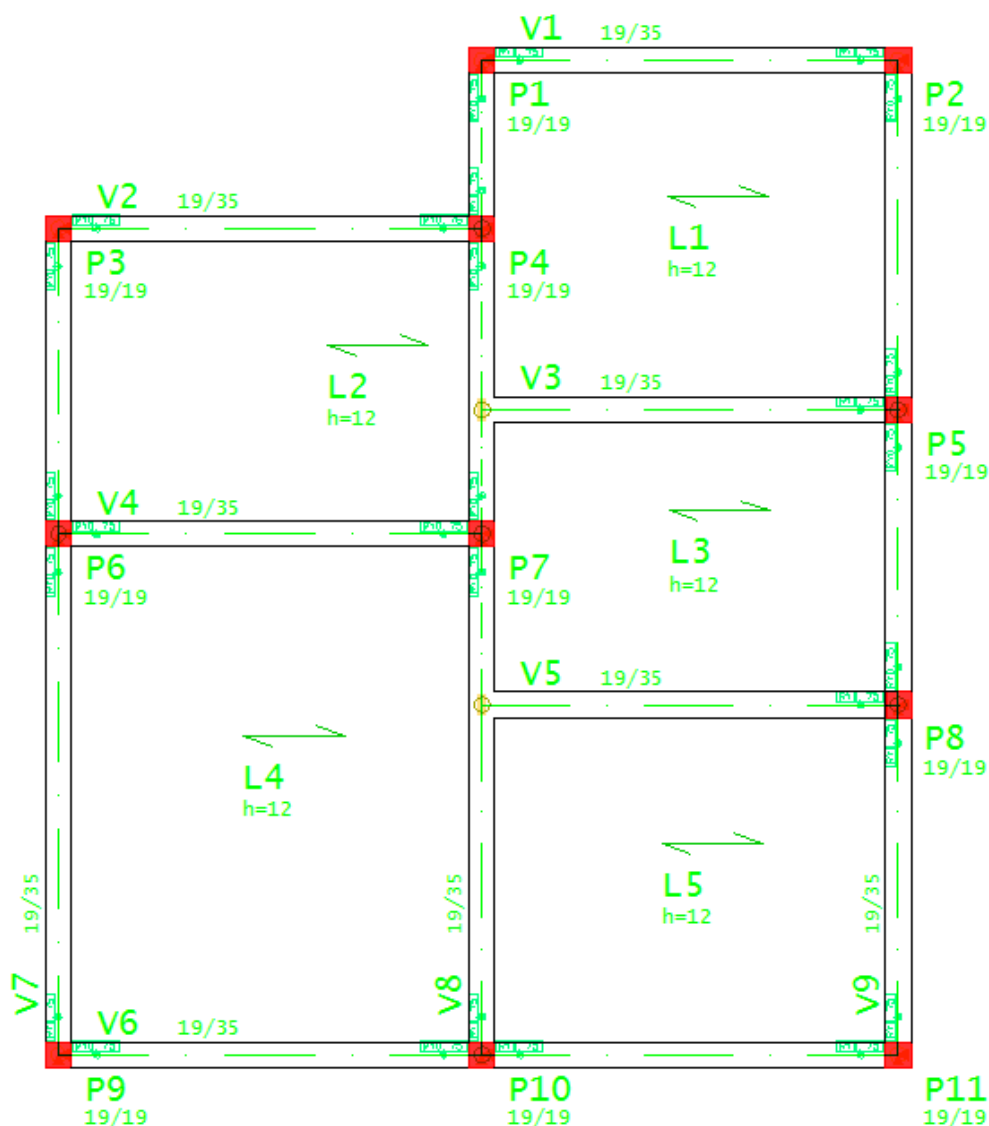


Figura 4 - Planta de forma (Residência). Fonte: autores.

Os pilares foram lançados com dimensões mínimas da norma NBR 6118 (2014); após o processamento global foram obtidas armaduras mínimas sendo elas 4 barras de $\Phi 10\text{mm}$, com taxa de aço de 133 kg/m^3 e taxa geométrica de 0,87%.

As vigas foram lançadas com dimensões baseadas nos parâmetros normativos da NBR 6118 (2014), com dimensões $19 \times 35 \text{ cm}$. As vigas passaram nas flechas totais, como mostra a Figura 5 abaixo:



Viga	Vão	L (cm)	f (cm)	f lim. (cm)	Situação
V1	1	382,75	-0,25	1,53	Passou
	2	222,75	-0,02	0,89	Passou
V2	1	382,75	-0,49	1,53	Passou
	2	227,50	-0,04	0,91	Passou
	3	120,25	-0,02	0,48	Passou
V3	1	255,75	-0,06	1,02	Passou
	2	219,50	-0,01	0,88	Passou
	3	255,25	-0,06	1,02	Passou
V4	1	300,50	-0,08	1,20	Passou
V5	1	305,50	-0,08	1,22	Passou
V6	1	305,50	-0,08	1,22	Passou
V7	1	310,25	-0,06	1,24	Passou
	2	305,25	-0,05	1,22	Passou
V8	1	305,75	-0,09	1,22	Passou

Figura 5 - Verificação de ELS de flechas em vigas (CAD/TQS). Fonte: autores.

As vigas do sobrado obtiveram conformidade em relação aos parâmetros normativos, assim como os valores obtidos de ELU e ELS, valores como as flechas, flexão, cisalhamentos, estão conforme as imposições da norma NBR 6118 (2014). As Tabelas 5 e 6 abaixo mostram os valores de flexão simples e cisalhamento na V3, no trecho 1 na extremidade do pilar 10, como pode-se observar nas tabelas abaixo:

Tabela 5 - Flexão Simples (V3)

M_k (tf.m)	M_d (tf.m)	A_s (cm ²)	A_s' (cm ²)	x (cm)	x/d
0,64	0,9	1,21	1,18	0,98	0,02

Fonte: autores.

Tabela 6 - Cisalhamento (V3)

V_{Rd2} (tf)	V_{Rd3} (tf)	V_c (tf)	V_{sw} (tf)	$A_{sw,nec}$ (cm ²)	$A_{sw,min}$ (cm ²)	V_{sd} (tf)
32,98	2,10	5,85	-3,75	1,95	1,95	2,1

Fonte: autores.

Detalhamento da viga V3 do pavimento superior (Figura 6):

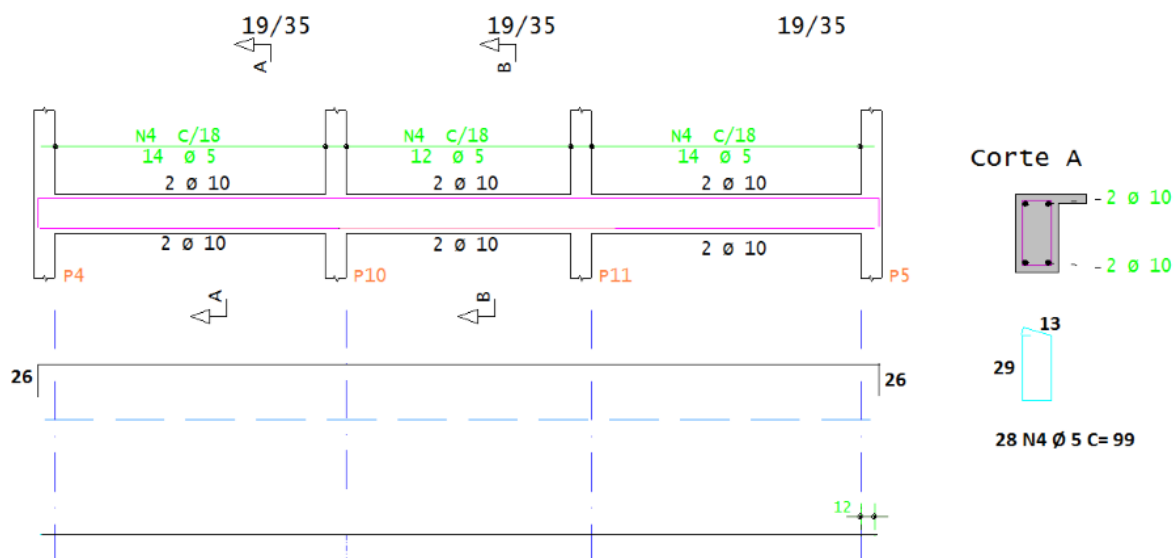


Figura 6 – Detalhamento da viga V3. Fonte: autores.

Houve fissuração nos elementos de viga e laje do sobrado, os valores obtidos estão abaixo do valor máximo previsto pela norma NBR 6118 (2014), que permite abertura de fissura máxima de 0,3 mm, a Figura 7 abaixo mostra as fissurações obtida:

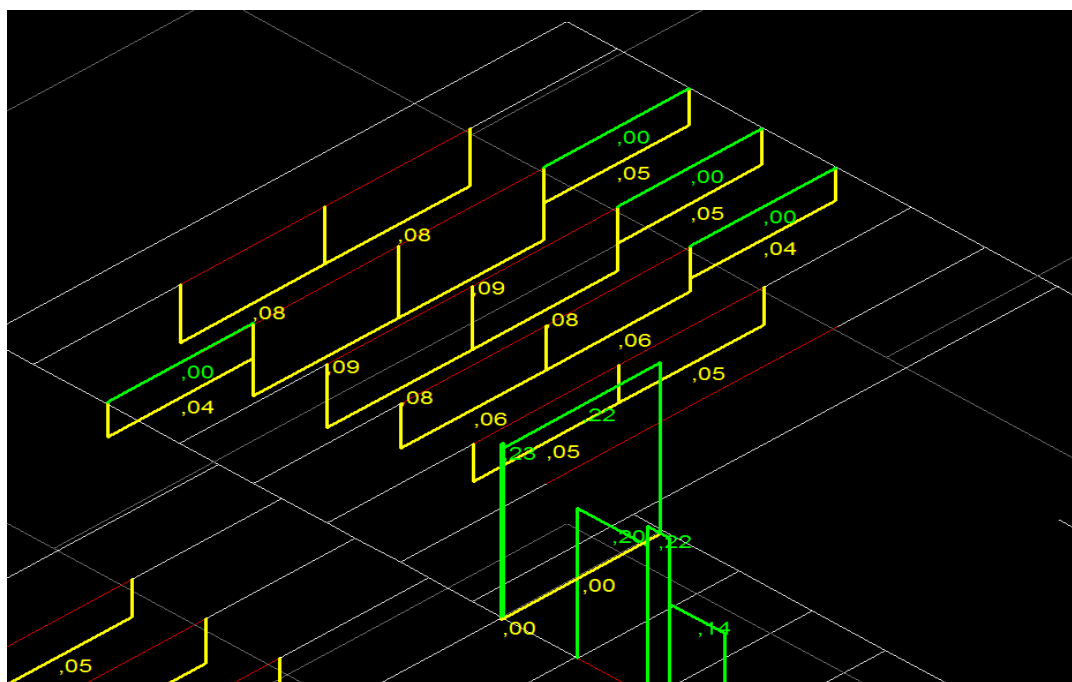


Figura 7 – Abertura de fissuras em ESL-W em combinação frequente para o sobrado, em “mm” (TQS). Fonte: autores.

Com os resultados obtidos pôde-se observar que para uma residência convencional os valores mínimos prescritos pela NBR 6118 (2014) são suficientes para garantir a segurança da edificação

O pavimento superior obteve o maior valor de deslocamentos para os elementos estruturais de lajes e vigas, visto que há cargas acidentais e permanentes no mesmo. O maior deslocamento de laje foi de 0,8 cm, de viga 0,4 cm e para os pilares o maior valor de M_z foi de 0,2 tf.m, valor que é resultante das parcelas de momentos provenientes das vigas para o pilar.

Conclui-se que para casas e sobrados residências um projeto estrutural elaborado embasado na NBR 6118 (2014) pode garantir a segurança e eficiência estrutural da edificação com valores mínimos e parelhos de norma.

Estrutura alvenaria estrutural

Após o lançamento do projeto foi possível a utilização da ferramenta “*Processamento Global*”, que analisou toda a estrutura, obtendo os resultados da consideração e distribuição das cargas e o cálculo das tensões e envoltórias de verificação de prisma f_{pk} .

De acordo com o Manual III – CAD/Alvest – Comandos e Funções, a informação mais importante para especificação da parede estrutural é a resistência de prisma e esta foi calculada a partir da ferramenta “*Combinações e Envoltória de carregamentos f_p* ”.

Com as tensões máximas e mínimas atuantes nas subestruturas, paredes e trechos de paredes definidas, o CAD/Alvest determinou o valor da resistência do prisma conforme prescreve a NBR 15812 (2010).

Os valores máximos e mínimos de f_p foram determinados para cada subestrutura, parede e trecho de parede. Assim houve inúmeros valores de f_p de acordo com os diversos casos de carregamentos definidos na envoltória. Desta forma o f_p pôde ser calculado para todas as situações de combinação em ELU.

Deste modo, para facilitar a visualização dos resultados, a opção “*Envoltória/ f_p* ” é uma ferramenta que tem como função organizar os piores casos de combinação para cada subestrutura, mostrando em forma de tabela (Tabela 7) e de representação gráfica os valores máximos de resistência à compressão de prisma necessários para resistir às solicitações referentes a cada subestrutura.

Além disso, ilustrou em quais locais o bloco não teve a resistência necessária para resistir as solicitações, mostrando os pontos em que o f_{pk} foi excedido.

Tabela 7 – Máximo f_{pk} por subestrutura.

Sobrado unifamiliar			
Primeiro pavimento		Segundo pavimento	
Subestrutura	$f_{pk,máx}$ (tf/m ²)	Subestrutura	$f_{pk,máx}$ (tf/m ²)
S1	91,7	S1	41,3
S2	79,3	S2	31,4
S3	82,3	S3	39,8
S4	100,4	S4	53,3
S5	102,5	S5	48,6

Fonte: autores.

A Tabela 8 resume os valores máximos de f_{pk} para o sobrado unifamiliar. Além disso, fornece o coeficiente de ponderação encontrado para ambas situações de acordo com o bloco utilizado. Para que o coeficiente de ponderação esteja de acordo com a norma ele deve ser maior ou igual a dois, ou seja, valor equivalente ao γ_m da alvenaria descrito pela NBR 15812-1 (2010).

Tabela 8 – Coeficiente de ponderação para o sobrado unifamiliar de acordo com os blocos utilizados.

Sobrado unifamiliar					
Bloco	Resistência do Bloco (f_b) (MPa)	Resistência em situação de Prisma (f_{pk}) (tf/m ²)	Esforço máximo característico de prisma solicitado ($f_{pk,máx}$) (tf/m ²)	Esforço máximo de cálculo de prisma solicitado (f_d) (tf/m ²)	Coeficiente de ponderação (γ_m)
Cerâmico de vedação	1,50	75,00	102,50	51,25	1,46
Cerâmico de vedação ensaiado	0,54	27,00	102,50	51,25	0,53

Fonte: autores.

Para o sobrado com o bloco de 1,50 MPa o programa apontou diversos locais onde a resistência do bloco não foi suficiente para suportar as cargas da edificação (Figura 8). Desta forma a utilização de tal bloco não atingiu o valor de coeficiente de ponderação exigido pela norma para que a construção seja considerada segura, apresentando coeficiente de segurança de 1,46.

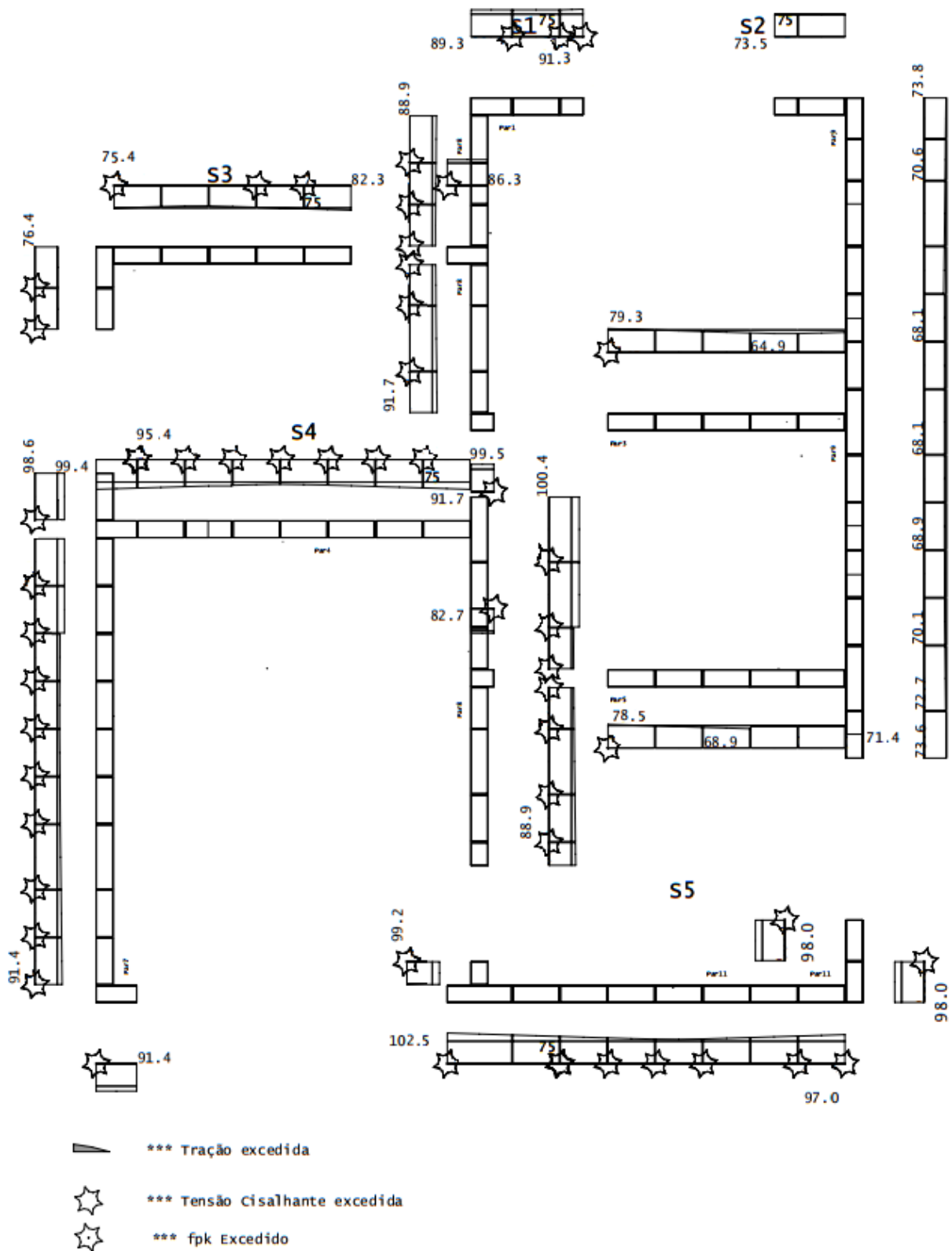


Figura 8 - “Envoltória/fp” do pavimento inferior do sobrado com o bloco de 1,5 MPa.
Fonte: autores.

Para o sobrado com o bloco de resistência ensaiada de 0,54 MPa foi possível observar que a resistência do bloco não foi suficiente para atender as ações solicitantes de nenhum conjunto de paredes do pavimento inferior (Figura 9), tendo um coeficiente de ponderação encontrado bastante abaixo da norma, com valor de 0,53.

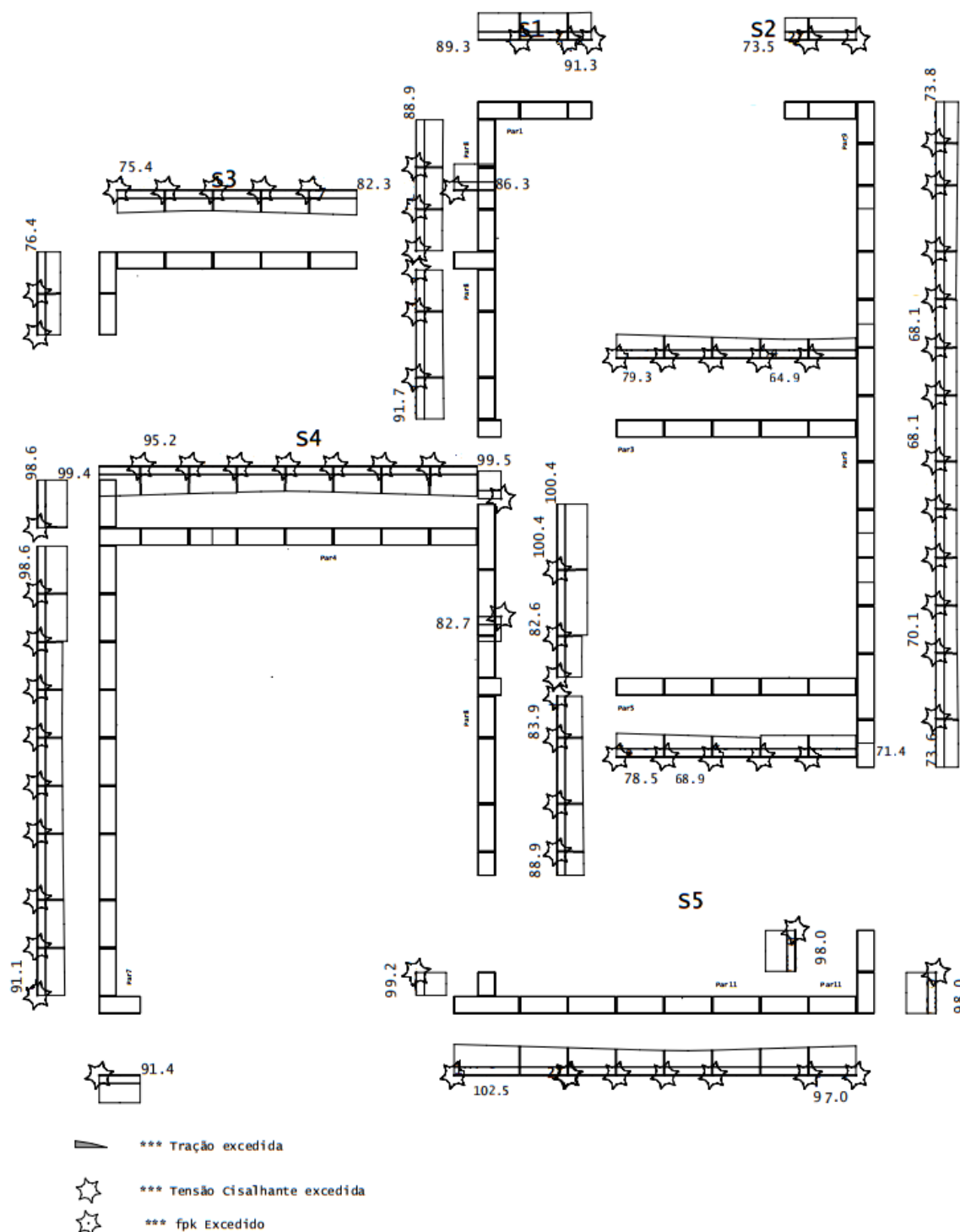


Figura 9 - “Envoltória/fp” do pavimento inferior do sobrado com o bloco de 0,54 MPa. Fonte: autores.

Conclusões

Visto os últimos acontecimentos na construção civil, tais como acidentes em obras residenciais, o presente estudo foi de extrema importância para o conhecimento e entendimento da funcionalidade estrutural de casas de pequeno e médio porte, demonstrando através de ensaios e simulações computacionais que estruturas fora de padrões normativos e com concepção estrutural errônea podem causar acidentes fatais.

No que diz respeito ao lançamento da estrutura no software SAP2000, os resultados apontaram que a execução de elementos em concreto armado em dimensões menores que as mínimas recomendadas pela NBR 6118 (2014), devido a existência da alvenaria cerâmica funcionando como suporte, acarretou que parte do momento que advém dos carregamentos diretamente para a viga fosse transferido para a parede e também para os pilares.

Para o estudo de análise computacional em concreto armado, através do CAD/TQS foi possível obter valores de ELS (Estado limite de serviço) e ELU (Estado limite último), resultados os quais estiveram dentro dos parâmetros normativos da NBR 6118 (2014).

Em relação aos resultados referentes a simulação em alvenaria estrutural pôde-se perceber que os blocos utilizados não tiveram desempenho suficiente para atingir o coeficiente de ponderação das alvenarias, pois como visto o coeficiente de ponderação alcançado para este caso foi de 1,46 para o bloco de 1,50 MPa e de 0,53 para o bloco ensaiado de 0,54 MPa.

Além disso, mesmo que os coeficientes de ponderação fossem atendidos, tal fato não justifica a ausência de profissional capacitado para o projeto e execução de tal construção, pois sem ele não haveria garantia alguma de que fossem realizadas as corretas práticas para uma construção segura.

Outro ponto importante é o fato de que, em construções em concreto armado, há a ideia de que as paredes possuem apenas função de vedação. Deste modo, em construções em concreto armado com elementos que não atendam as dimensões mínimas exigidas. O desconhecimento de que as paredes estão funcionando como elemento portante poderia causar graves acidentes em caso de reforma, pois supostamente a parede teria apenas função de vedação e na realidade não é isso que acontece.

Deste modo, o estudo de tais estruturas se apresentou relevante, pois assim pôde-se ser entendido seu funcionamento e previsto seu comportamento.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14860-1**: Laje pré-fabricada – pré laje- requisitos parte 1: Lajes Unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3**: Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-1**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961**: Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto. Rio de Janeiro, 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças Devido ao Vento em Edificações. Rio de Janeiro, 1988.

Carvalho, M. J. de. **Estudo Comparativo Entre Pórticos de Concreto Armado Com e Sem a Contribuição da Rigidez das Paredes de Blocos Cerâmicos Frente a Esforços Verticais**. 2017. Artigo Científico (Pós Graduação em Estruturas) – Centro Universitário de Unilins, Lins.

Faldão, V.; Dutra, G. S. **Análise de flecha e fissuração em vigas de concreto armado através da NBR 6118 (2014) e método dos elementos finitos**. 2015. Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, Araçatuba.

Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento NBR 6117 (2003) Ramalho, Márcio A.; Corrêa, Márcio R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

Santiago, J. E. D. **Acidentes Estruturais na Construção Civil**. 2014. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte.

TQS Informática Ltda. - **Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado, Protendido, Pré-moldados e Alvenaria Estrutural CAD**. São Paulo, 2003. Manual para uso do CAD/Alvest Comandos e Funções parte 1.