

Desenvolvimento de uma Ferramenta Computacional Para Modelagem e Dimensionamento de Paredes de Concreto Moldadas *In Loco*

Ricardo Sampaio Romão Filho¹, Lucas Henrique Oliveira Muniz², Hugo de Miranda Taglialegna³

¹CESMAC / FEJAL / Engenharia Civil / r.s.romaofilho@gmail.com

²CESMAC / FEJAL / Engenharia Civil / lucasmuniz.pro@hotmail.com

³CESMAC / FEJAL / Engenharia Civil / hugo_de_miranda@hotmail.com

Resumo

Diante do aumento da competitividade do setor da construção civil, evitar desperdícios e aumentar a produtividade tornou-se mandatório. Isso implica na adoção de novas filosofias de produção sustentáveis em detrimento aos modelos tradicionais. Os métodos construtivos convencionais geram uma grande quantidade de desperdícios de materiais, gerando retrabalho e perda de produtividade. O sistema construtivo de paredes de concreto moldado *in loco* se apresenta como uma solução para este problema. O mesmo possui como principais características a alta produtividade, qualidade e sustentabilidade. Contudo, ainda não existe uma ferramenta computacional capaz de auxiliar o engenheiro e que traga celeridade no processo de modelagem, dimensionamento e detalhamento dos elementos. Este trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de um programa computacional, no qual pode-se realizar a modelagem e dimensionamento das paredes de concreto moldado *in loco*, com base no que preconiza a ABNT NBR 16055 (2012).

Palavras-chave

Paredes de Concreto; Programa Computacional; Modelagem; Dimensionamento.

Introdução

Um novo sistema estrutural surgiu na última década no Brasil, e está sendo bem difundido em todo país. O mesmo é conhecido como sistema construtivo de paredes de concreto moldado *in loco*, sendo este, um sistema já difundido em países da Europa, América do Norte, entre outros. Foi após a implantação do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e o programa “*Minha Casa, Minha Vida*” que o sistema de paredes de concreto teve maior aplicação no Brasil. O sistema de paredes de concreto moldado *in loco* apresenta-se bastante vantajoso em obras com grandes repetições. Neste, a produção em grande escala visando à velocidade da construção, somados à otimização da qualidade de serviço, são fatores ideais. A grande vantagem deste método construtivo é a velocidade com que as estruturas são produzidas, com o máximo de unidades por menor tempo possível, aliada à eliminação de etapas construtivas, tornando o sistema de paredes de concreto rápido, versátil e sem possíveis ajustes artesanais (ROMÃO FILHO, 2016).

ROMÃO FILHO (2016) desenvolveu um programa capaz de modelar e dimensionar edifícios de paredes de concreto pré-moldado, baseado em normas internacionais, uma vez que as normas brasileiras, até o momento, não abordam este assunto. Este programa computacional foi elaborado em linguagem computacional

MATLAB® e tem o intuito de auxiliar engenheiros no dimensionamento de paredes de concreto pré-moldado, usando o Modelo de Pórtico Tridimensional mostrado por NASCIMENTO NETO (1999). Porém este programa se limita à análise de paredes de concreto pré-moldado. Este trabalho tem o intuito de ampliar o campo de atuação do programa computacional desenvolvido, tornando-o capaz de dimensionar edificações com paredes de concreto moldada *in loco*, baseado na ABNT NBR 16055 (2012).

Parede de Concreto Moldado *in loco*

O sistema construtivo de paredes de concreto é um sistema que precisa de um planejamento meticuloso para se obter os bons resultados esperados. Trata-se de um método racionalizado e industrializado que visa erradicar atrasos e custos adicionais na obra. Como qualquer outro método construtivo, este sistema possui algumas desvantagens que impedem sua aplicação em determinadas obras, sendo uma das principais, o custo elevado de aquisição das fôrmas, o treinamento da equipe operacional e a grande necessidade do empreendimento possuir a compatibilidade de todos os projetos como por exemplo o hidrossanitário, elétrico, estrutural e arquitetônico, visando evitar problemas operacionais futuros.

Por este motivo deve-se conhecer todas as etapas deste método construtivo. É importante salientar que as premissas básicas de concepção de projeto devem ser levadas em consideração. Segundo a ABNT NBR 16055 (2012) o comprimento da parede deve ser maior ou igual a dez vezes sua espessura para caracterizar o elemento de parede de concreto e a resistência característica à compressão no concreto deve ser menor ou igual a 40 MPa. Como todo projeto envolvendo estruturas, o projeto de paredes de concreto demanda muita atenção, principalmente em relação às extremidades das paredes e ao caminhamento dos esforços ao redor das aberturas. O projeto de uma estrutura de parede de concreto deve ser realizado visando à resistência a todas as ações que sobre ela produzam algum tipo de efeito significativo tanto na sua construção quanto durante sua vida útil.

Uma das principais diretrizes deste sistema construtivo é que ele consiste basicamente na moldagem de lajes e paredes maciças de concreto armado, unificado com telas metálicas assentadas de forma centralizada. A estrutura é dimensionada especificamente para cada projeto de arquitetura. O controle geométrico das peças e a obtenção de superfícies aptas a receberem o acabamento devido são oriundos do seu processo de produção racionalizado.

Segundo VENTURINI (2011) é possível diminuir 50% do tempo que se levaria em uma obra convencional, com isso, economiza-se em despesas com o canteiro de obras e proporciona um retorno financeiro mais rápido.

Modelo de Pórtico Tridimensional

Este método foi desenvolvido por YAGUI (1978) para simular núcleos de concreto armado, de forma simples, por meio de elementos de barra. NASCIMENTO NETO (1999) baseou-se no modelo Yagui para modelar e analisar edifícios de alvenaria estrutural. O modelo usado levou em consideração a deformação das paredes por cisalhamento, e avaliou de forma indireta e aproximada os efeitos causados pelo empenamento da seção composta formada pelas paredes, denominando o modelo como

“modelo de pórtico tridimensional”, que o citado autor considera como o mais preciso e completo entre os modelos de barra.

No modelo de pórtico tridimensional, as paredes portantes são discretizadas por elementos de barra tridimensionais, que possuem as mesmas características geométricas das respectivas paredes que representam. Essas barras devem ser posicionadas no centro de gravidade da seção da parede, e não é considerada em sua composição a existência de abas ou flanges, uma vez que essa contribuição já está incorporada ao modelo.

As paredes adjacentes são conectadas por barras horizontais rígidas (Figura 1), de modo a se considerar a interação que efetivamente se desenvolve nas paredes, bem como as excentricidades associadas às forças de interação. As barras rígidas têm por finalidade simular o efeito do comprimento dos painéis e a interação que se desenvolve neles. As extremidades comuns são consideradas articuladas, permitindo apenas a transmissão de esforços cortantes.

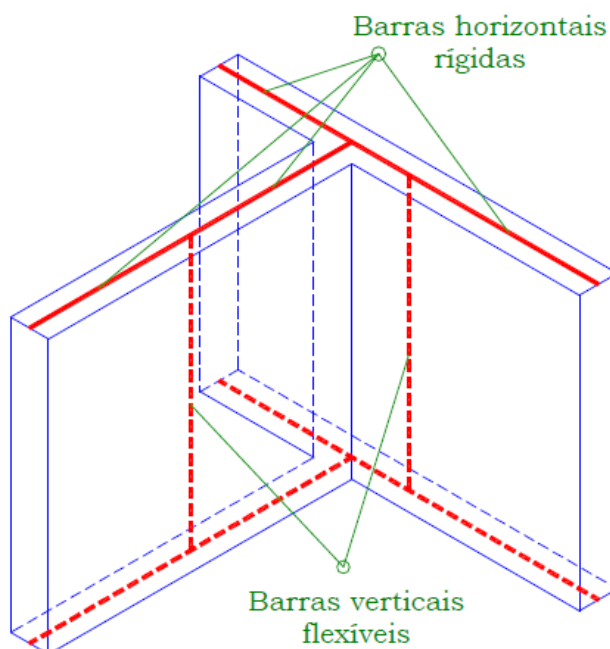


Figura 1 - Parede simulada por barras rígidas e flexíveis.
[Fonte: NASCIMENTO NETO (1999)]

O modelo também permite a inclusão de lintéis, que são os trechos de parede situados sobre as aberturas de portas e janelas, com grande altura em relação ao seu vão. Eles são incluídos no modelo como barras horizontais flexíveis, e suas extremidades são engastadas nas barras rígidas, como mostra a Figura 2.

As barras rígidas horizontais têm características conforme foi recomendado por CORRÊA (1991). Segundo esse autor, elementos de grande rigidez são usados como alternativa para a consideração dos nós de dimensões finitas, encontrados nos pórticos de edifícios de concreto armado.

Segundo CORRÊA (1991), esses elementos devem apresentar características da seção transversal de modo a simular o trecho rígido da estrutura com uma rigidez suficientemente grande para que seja alcançado o objetivo da simulação, sem perturbar a estabilidade numérica da solução. Segundo o citado autor, a discrepância muito acentuada de rigidez no modelo pode produzir resultados não condizentes. Utilizar

barras com seções com espessura igual à da parede e altura do pé-direito é a alternativa indicada para representar a barra rígida.

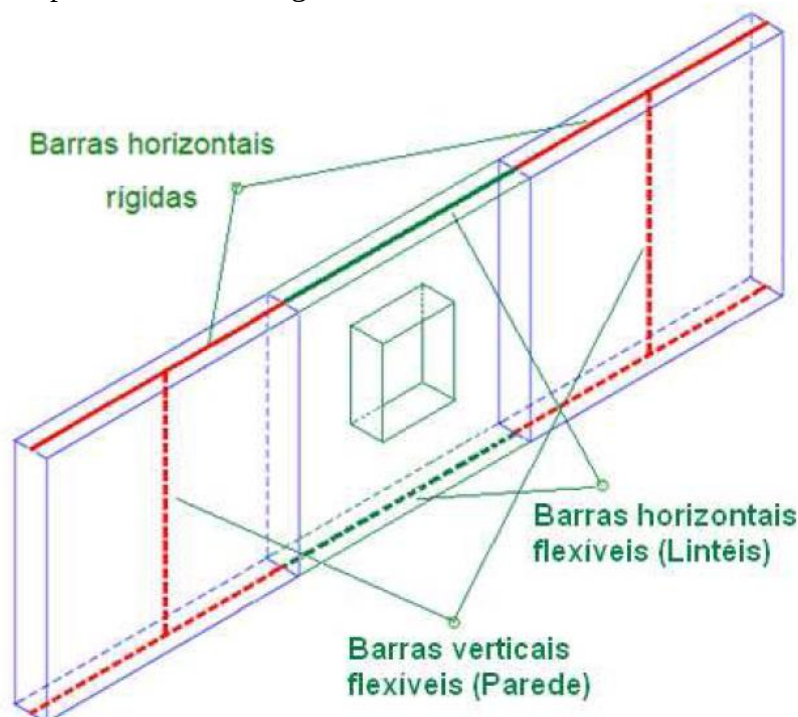


Figura 2 - Paredes e lintéis representados como elementos de barras.
[Fonte: NUNES (2011)]

Quanto à modelagem da laje, esse elemento é idealizado como um diafragma rígido em seu plano, o que possibilita a utilização do recurso do nó mestre para a compatibilização dos deslocamentos no nível do pavimento. Esses deslocamentos são associados a duas translações independentes no plano do pavimento e a uma rotação em torno do eixo normal a esse plano. (NASCIMENTO NETO, 1999)

Programa Computacional e Rotina para Paredes Moldadas *in loco*

O programa foi desenvolvido com o intuito de auxiliar engenheiros no dimensionamento de paredes de concreto pré-moldado, usando o modelo de pórtico tridimensional, e é composto basicamente das três etapas: pré-processamento, processamento e pós-processamento.

O código foi desenvolvido em MATLAB®, que foi escolhido pela familiaridade dos autores com essa linguagem e pelo fato do MATLAB® disponibilizar um ambiente para o desenvolvimento de GUI (*Graphical User Interface*). A interface gráfica foi elaborada para tornar a entrada de dados intuitiva e para visualizar os resultados de maneira organizada e simples.

Para realizar o processamento do modelo de pórtico tridimensional foi usado o programa comercial SAP 2000® versão 16. O SAP 2000® permite que algumas linguagens computacionais se comuniquem com ele por meio do API (*Application Programming Interface*), com base em funções pré-definidas. Sendo assim, foi possível fazer um código computacional para definir os materiais, as combinações, as condições de apoio, gerar o modelo, lançar as cargas, processar e obter os resultados utilizando o

MATLAB[®], não sendo necessário qualquer conhecimento do funcionamento do SAP 2000[®], por parte do usuário.

A Figura 3 mostra um organograma em ordem hierárquica das etapas existentes no programa. A primeira etapa é a definição dos critérios, na qual são inseridas as características do edifício, as propriedades do concreto e das juntas, as características da fase transitória, os parâmetros para o cálculo da força de arrasto e as combinações de cálculo adotadas.

Em seguida é iniciado o lançamento das paredes. Nesta etapa todas as paredes são inseridas de acordo com a arquitetura, além de se informar se as paredes apresentam janelas ou porta, se é de fachada ou interna e se tem espessura diferenciada.

Posteriormente é feita a modelagem automática, processamento e aquisição dos resultados a partir do SAP 2000[®] para o MATLAB[®]. Por fim é realizado o dimensionamento das paredes portantes, e os resultados são expostos na forma de relatórios em arquivos de texto e na interface do próprio programa.

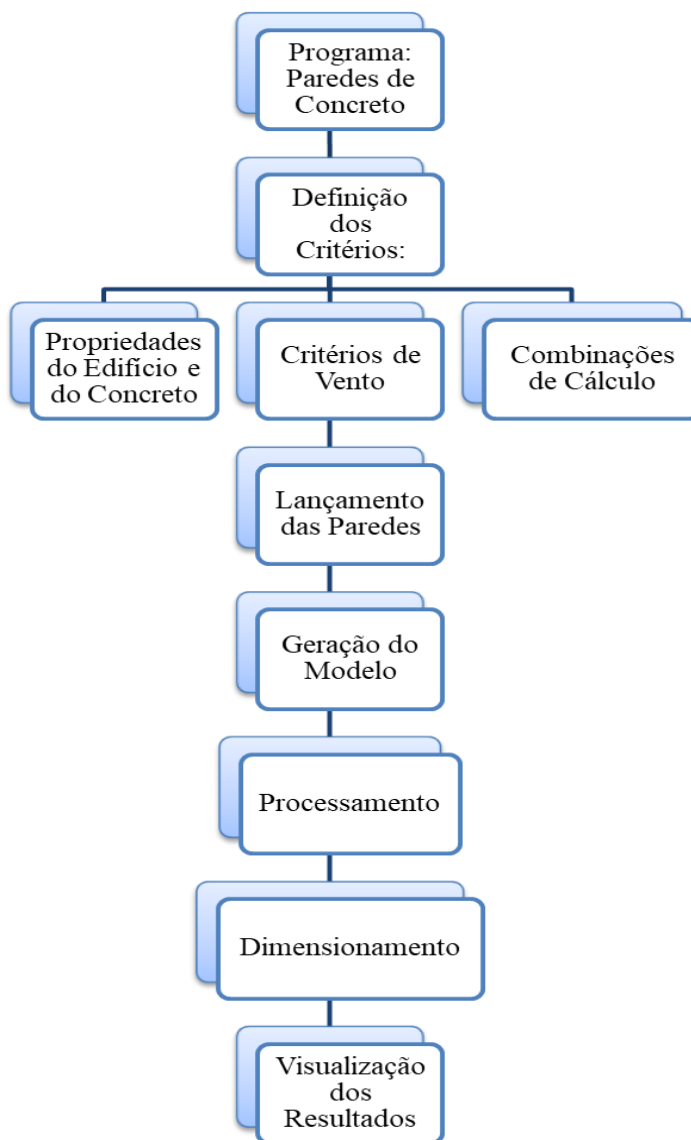


Figura 3 - Organograma do programa desenvolvido.

Conclusões

O programa é constituído de uma interface principal (Figura 4), na qual existem as abas superior (Arquivo, Edifício, Ajuda e Sobre), um ambiente gráfico para a visualização dos dados que estão sendo inseridos, dois painéis para a definição de algumas propriedades da parede, um botão Propriedade da Parede, um painel para inserir os elementos e dois botões (Alterar e Deletar).

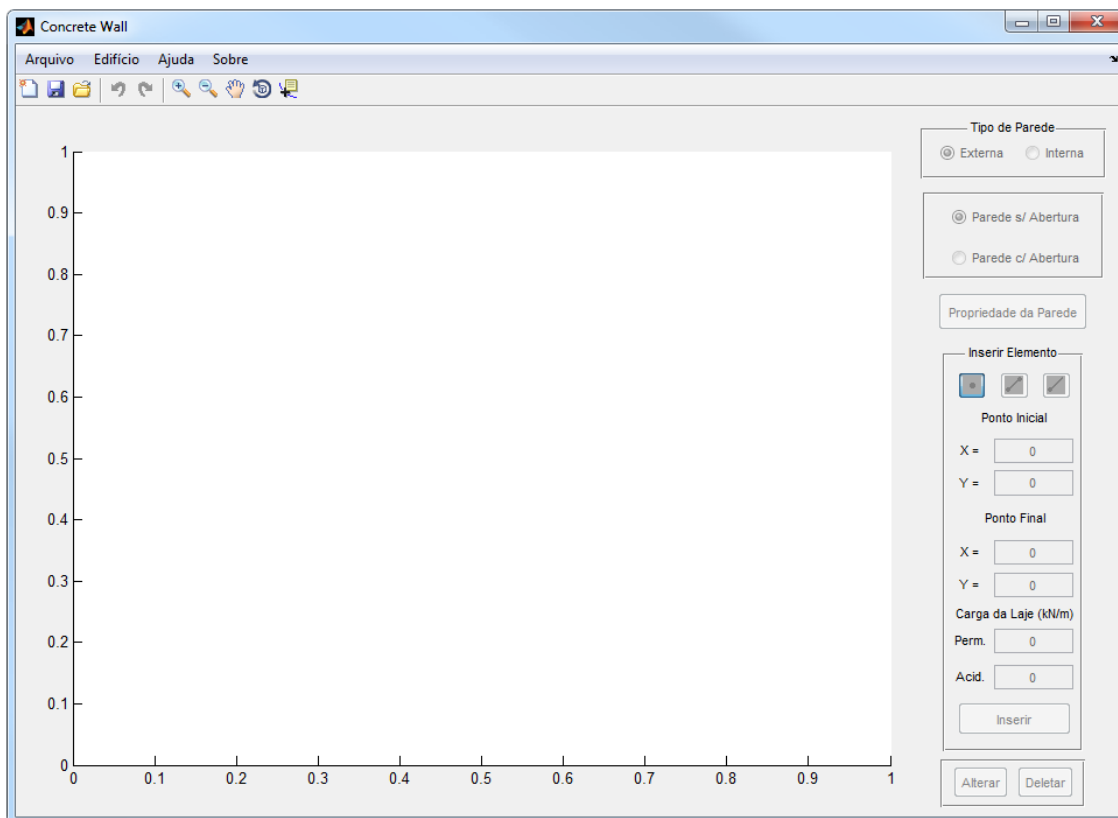


Figura 4 – Interface principal do programa.

Foi inserido no programa a possibilidade de escolher entre usar parede concreto pré-moldado e concreto moldado *in loco*, como mostrado na Figura 5. A opção padrão do programa é estrutura de concreto pré-moldado, caso essa opção seja desmarcada, o dimensionamento será realizado pela rotina desenvolvida de acordo com a ABNT NBR 16055 (2012).

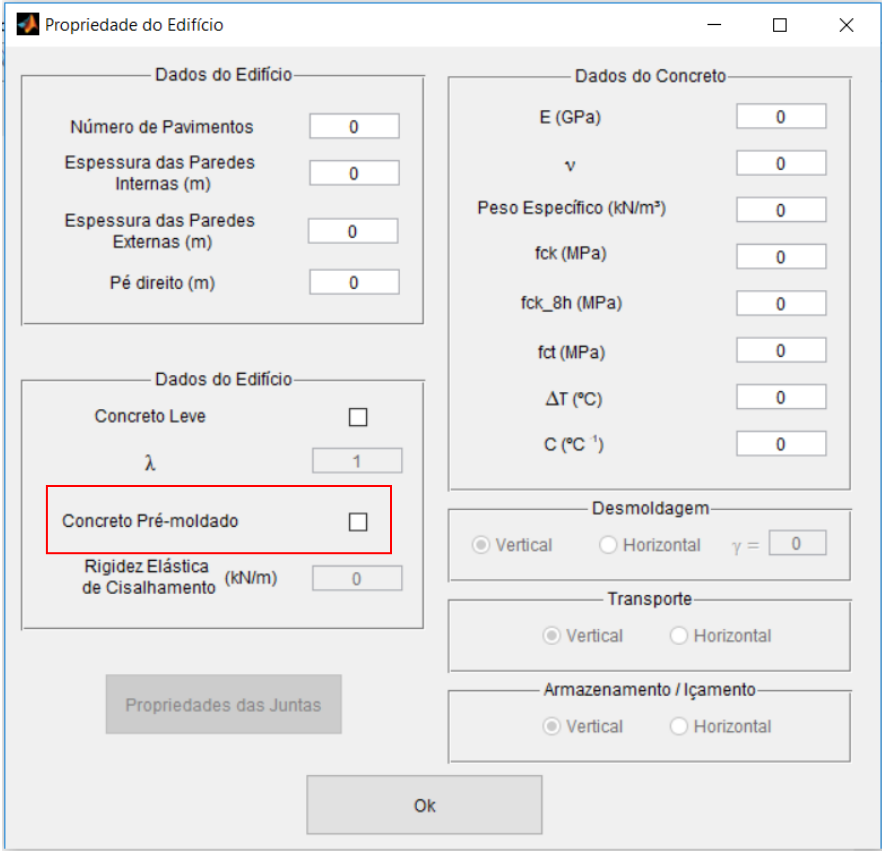


Figura 5 – Janela para definir as propriedades do edifício.

Após inserir a rotina no programa foi elaborado um edifício exemplo para realizar a validação dos cálculos. Este edifício possui oito pavimentos e as características dos materiais utilizados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedade dos materiais utilizados.

Propriedades	Valor	Unidades
E	28,00	GPa
v	0,20	-
Peso específico	25,00	kN/m ³
f_{ck}	25,00	MPa
f_{ct}	2,56	MPa
Δt	10,00	°C
C	0,0001	°C ⁻¹

Para melhor visualização um quarto da planta baixa do edifício já modelada está mostrada na Figura 6. Os painéis (paredes de concreto moldado *in loco*) foram enumerados por ordem de inserção, o qual foi realizada automaticamente pelo programa computacional.

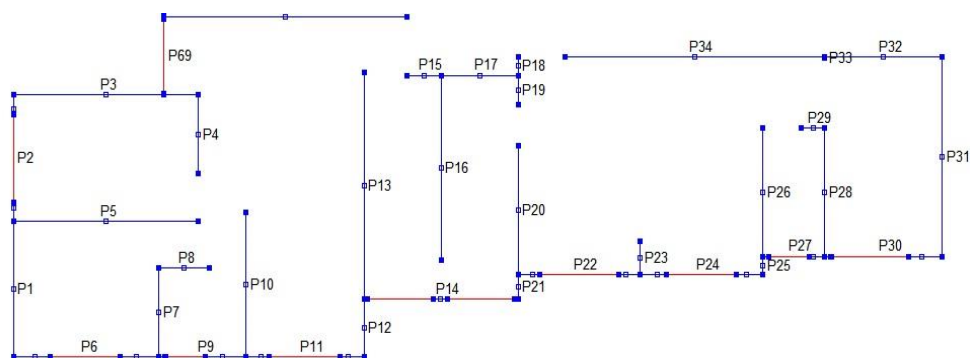


Figura 6 – Representação de um quarto do edifício.

Na Tabela 2 encontram-se os valores inseridos para a consideração do esforço horizontal do vento. A partir dos parâmetros o programa já insere esses esforços horizontais diretamente no modelo de pórtico tridimensional.

Tabela 2 - Valores usados para encontrar a força do vento.

Velocidade básica	30 m/s
Fator terreno	1,00
Categoria de rugosidade	I
Classe do edifício	B
Fator estatístico	1,00
Comprimento do edifício	43,57 m
Largura do edifício	13,29 m
Ca 0°	0,85
Ca 90°	1,15
Tipo de turbulência	BAIXA
VENTO A 0° (h / l1)	1,62530
VENTO A 0° (l1 / l2)	0,30503
VENTO A 90° (h / l1)	0,49575
VENTO A 90° (l1 / l2)	3,27840

Com o edifício totalmente modelado, propriedades, critérios de vento e combinações definidas, foi realizado o processamento e dimensionamento. Os valores de cálculo, assim como o passo a passo para comparação analítica deste exemplo podem ser vistos no trabalho realizado por TAGLIALEGNA e MUNIZ (2017). Na Figura 7 estão apresentados os resultados das paredes dimensionadas, na mesma imagem podem se observar as propriedades geométricas da parede, esforços atuantes, verificação com relação às tensões atuantes e qual a área de aço deve ser utilizada, assim como a malha comercial que poderá ser utilizada.

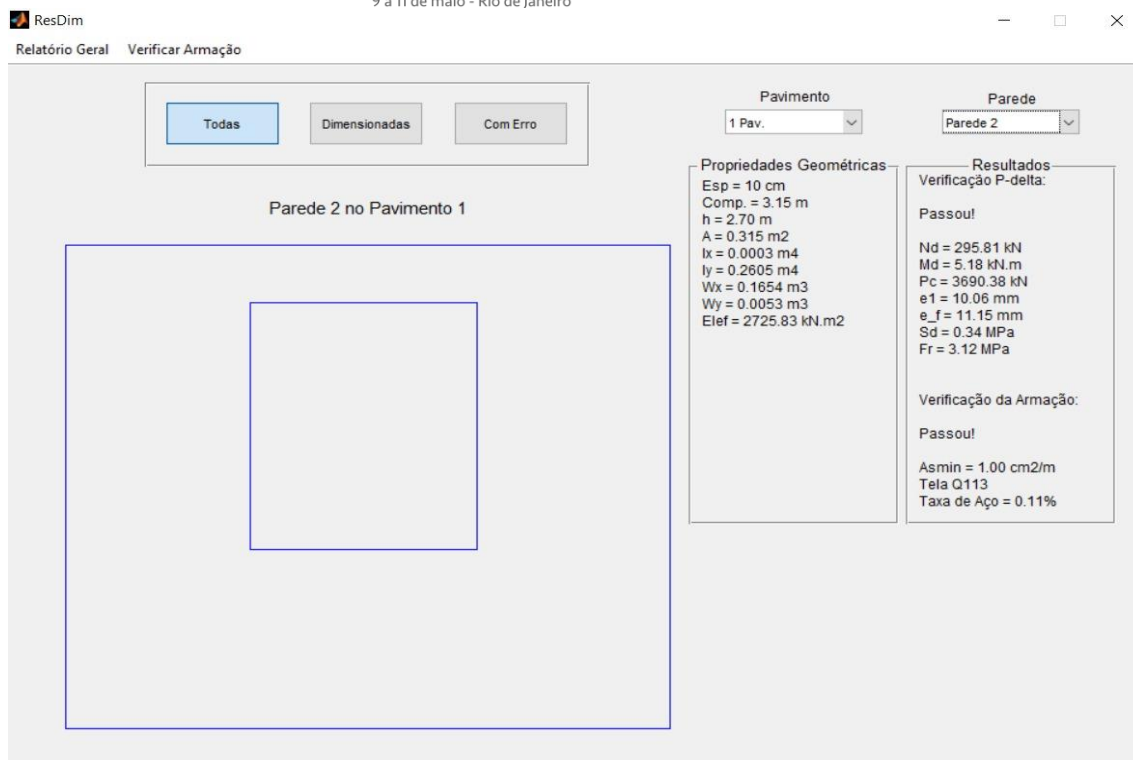


Figura 7 – Resultado da parede 4 no primeiro pavimento.

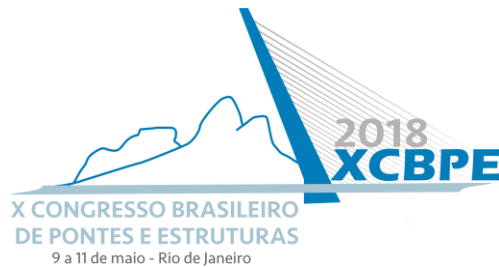
Por fim o objetivo principal deste trabalho foi o desenvolvimento de uma rotina computacional, que ao ser anexada ao programa computacional desenvolvido por ROMÃO FILHO (2016) permitiu o dimensionamento de paredes de concreto moldada *in loco*, o que agregou valor a um programa com bastante potencial para Engenharia Civil.

Portanto conclui-se que a modelagem realizada no programa computacional, que apesar de ter sido desenvolvido para dimensionar paredes de concreto pré-moldadas, foi realizada de forma satisfatória, intuitiva e simples. O lançamento e processamento das paredes de concreto moldadas *in loco* foi realizada com êxito, bem como a obtenção dos esforços, processados pelo SAP 2000®.

No que concerne ao dimensionamento de paredes de concreto moldado *in loco*, a rotina anexada ao programa computacional, mostrou-se capaz de auxiliar o engenheiro na obtenção de resultados de forma automatizada, sendo um artifício útil para agilizar o dimensionamento desses elementos.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16055: Paredes de Concreto. Rio de Janeiro, 2012.
- CORRÊA, M. R. S. Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de sistemas estruturais de edifícios. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.
- NASCIMENTO NETO, J. A. Investigação das solicitações de cisalhamento em edifícios de alvenaria estrutural submetidos a ações horizontais. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos., Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.



- ROMÃO FILHO, R S. Desenvolvimento de programa computacional para dimensionamento de paredes portantes pré-moldadas. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos., Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- TAGLIALEGNA, H. M.; MUNIZ, L. H. O. Sistema construtivo de parede de concreto: análise, modelagem e dimensionamento de estruturas moldadas *in loco*. Dissertação (TCC) – Centro Universitário CESMAC, Maceió, 2017.
- VENTURINI, J. Passo-a-passo: Casas com paredes de concreto. Equipe de Obra, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 10, jul/2011.
- YAGUI, T. Análise de estruturas de edifícios constituídas de núcleo de concreto armado e pilares ou pendurais de aço (carregamento crítico de instabilidade geral). Tese (Livre-docência) – Faculdade de Engenharia de Limeira, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 1978.