

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS UNI-ANHANGUERA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CÁLCULO COM FERRAMENTA
COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS
DE CONCRETO ARMADO X CONSTRUÇÃO IRREGULAR**

LUCAS MOREIRA DE OLIVEIRA

GOIÂNIA
Novembro/2019

LUCAS MOREIRA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CÁLCULO COM FERRAMENTA
COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS
DE CONCRETO ARMADO X CONSTRUÇÃO IRREGULAR**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao Centro Universitário de Goiás - Uni-ANHANGUERA, sob orientação do Professor Especialista Aurélio Caetano Feliciano, como requisito parcial para obtenção do título de bacharelado em Engenharia Civil.

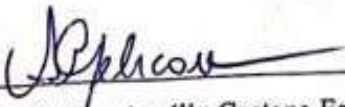
GOIÂNIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

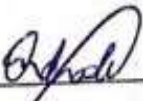
LUCAS MOREIRA DE OLIVEIRA

ANÁLISE COMPARATIVA DO CÁLCULO COM FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO X CONSTRUÇÃO IRREGULAR

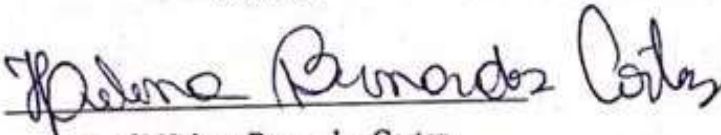
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito para obtenção do Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, defendido e aprovado em 27 de 11 de 2019 pela banca examinadora constituída por:



Prof.º Esp. Aurélio Caetano Feliciano
Orientador



Prof.ª Paula Viana Queiroz Andrade
Membro



Prof.ª Helena Bernardes Cortez
Membro

GOIÂNIA
Novembro/2019

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre ter me abençoado e renovado minhas forças durante todo o curso de Engenharia Civil. Agradeço também a minha esposa e companheira por todo apoio e incentivo que tem me dado. Agradeço também aos meus pais, que sempre me incentivaram nessa caminhada e me proporcionaram a oportunidade de realizar esse curso. Por último, ao Prof.º Esp. Aurélio Caetano Feliciano, que me orientou durante minha pesquisa, disponibilizando tempo e seu conhecimento, acreditando sempre no meu trabalho.

RESUMO

O projeto estrutural em concreto armado consiste no pré-dimensionamento dos elementos estruturais, análise dos deslocamentos e esforços solicitantes da estrutura, dimensionamento e detalhamento das armaduras. Inicialmente o projeto estrutural era desenvolvido de forma analítica, o que gerava aumento do tempo de serviço e recorrências de erros pela complexibilidade dos cálculos. Através do desenvolvimento tecnológico foram desenvolvidas ferramentas computacionais que proporcionam aumento da agilidade na elaboração de tais projetos e maior segurança, uma dessas ferramentas é o software *Cypecad*. Embora tenhamos tido essa evolução em ferramentas de projeto, ainda é comum observar construções que são realizadas sem o mínimo dimensionamento estrutural. Em decorrência disso o objetivo do trabalho é analisar uma estrutura que foi executada sem projeto estrutural ou qualquer dimensionamento que não fosse empírico, utilizando o método de dimensionamento computacional com o software. Para a execução do trabalho foi analisado o projeto arquitetônico de um conjunto de casas geminadas. A partir desse projeto a estrutura que já foi executada foi analisada por meio de ferramenta computacional, em seguida foi realizado em projeto ajustes nessa estrutura adequando-a a normatização e comparando os resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: Software. Armadura. Parâmetros. Agilidade. Desenvolvimento.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento das cidades brasileiras e incentivos do governo para que famílias de baixa renda estejam aptas à aquisição de residência própria, há grande aumento da demanda de edificações familiares. Com isso várias pessoas decidem investir em construção de casas populares. Para redução dos custos esses construtores preferem optar por casas geminadas.

Essa pesquisa advém do interesse do autor de realizar a análise da estrutura de uma edificação que foi executada sem dimensionamento e sem observar os requisitos normativos, e realizar as adequações normativas comparando os resultados.

O método analítico de dimensionamento de estruturas não é mais o único método utilizado. Com o desenvolvimento computacional foram desenvolvidos softwares que facilitam a realização de dimensionamentos. Tal avanço tecnológico proporciona aumento na qualidade de projeto e garantia de um serviço de qualidade ao usuário. Um desses softwares é o *Cypecad* que foi utilizado para essa análise.

Conforme Fischer (2003), além de proporcionar economia de tempo, os softwares permitem também, que os profissionais testem várias alternativas alterando parâmetros de projeto até chegarem a um modelo estrutural tecnicamente viável, com segurança, durabilidade e custos compatíveis com o orçamento da obra.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida por meio de uma pesquisa experimental computacional a partir do projeto arquitetônico de uma edificação geminada, e o detalhamento do mestre de obras responsável, a respeito da estrutura que foi executada. Foi realizada a análise estrutural do que seria executado sem projeto e nomeada como Estrutura 1, e após essa análise foram feitas alterações para adequar às normas e comparar os resultados obtidos. Essa segunda estrutura foi nomeada como Estrutura 2. Foi utilizado para essa análise o *Cypecad*, um software de dimensionamento estrutural. Essa obra foi realizada na cidade de Goiânia-GO.

2.1 Arquitetura

O empreendimento trata-se de um conjunto de três casas geminadas, de dois quartos cada uma, a alvenaria conta com 12 cm de espessura em todas as paredes, exceto onde são compartilhadas por casas distintas, nesse ponto tem-se 20 cm de espessura de alvenaria. A arquitetura pode ser observada na Figura 1.



Figura 1. Arquitetura.

2.2 Lançamento da estrutura a ser executada

A Estrutura 1 foi executada com pilares de 12 cm respeitando a arquitetura, mas não atende à NBR6118:2014 que determina que a dimensão mínima de um pilar deve ser de 14 cm e seção transversal de no mínimo 360 cm².

As vigas foram executadas com canaletas de concreto que foram armadas e concretadas, a armadura utilizada em toda a estrutura foi de 8 mm de diâmetro, o que não atende aos requisitos de diâmetro mínimo de barras longitudinais da NBR6118:2014 que estabelece que esse diâmetro não pode ser inferior a 10 mm.

Utilizando a ferramenta *Autocad* foi feito o desenho e lançamento dos pilares de acordo com o que foi relatado que seria executado, conforme mostrado na Figura 2.

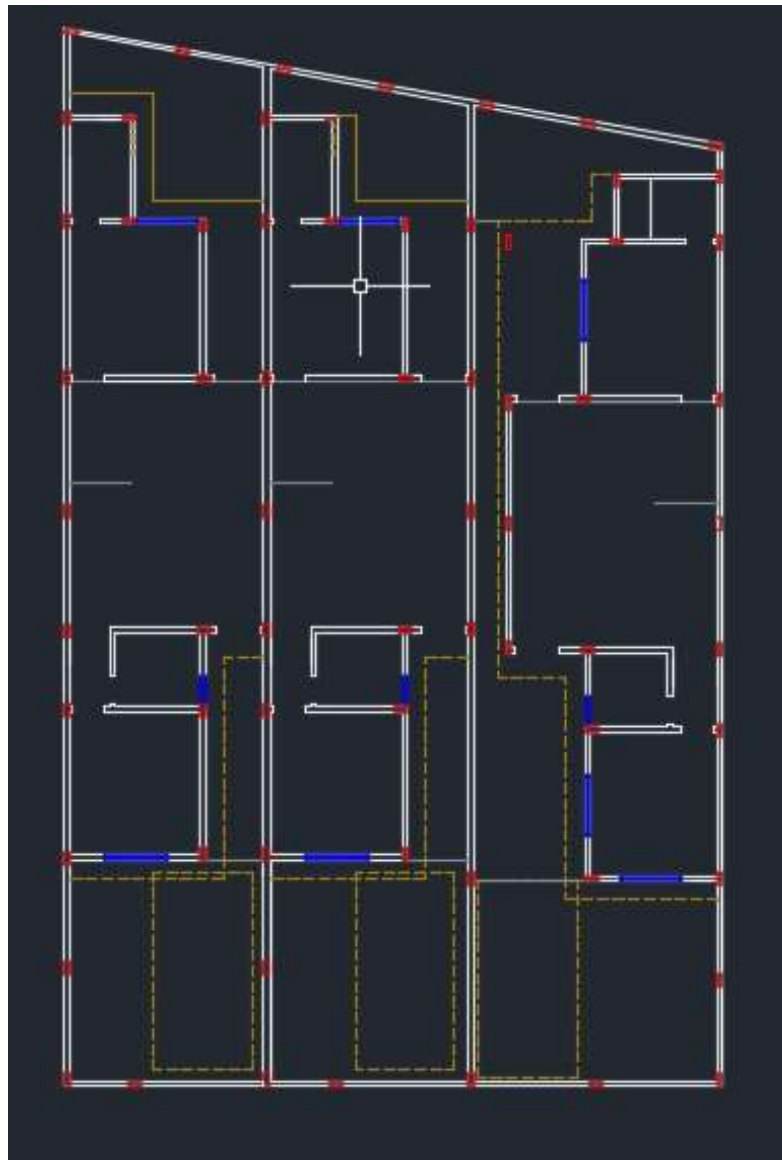


Figura 2. Lançamento de pilares.

2.3 Análise da estrutura

2.3.1 Informações da estrutura

Após o lançamento dos pilares com uso do *Autocad*, foi feita a importação da estrutura para o software *Cypecad* para realizar a análise da estrutura. O primeiro passo foi a inclusão de informações da estrutura como mostra a Figura 3.

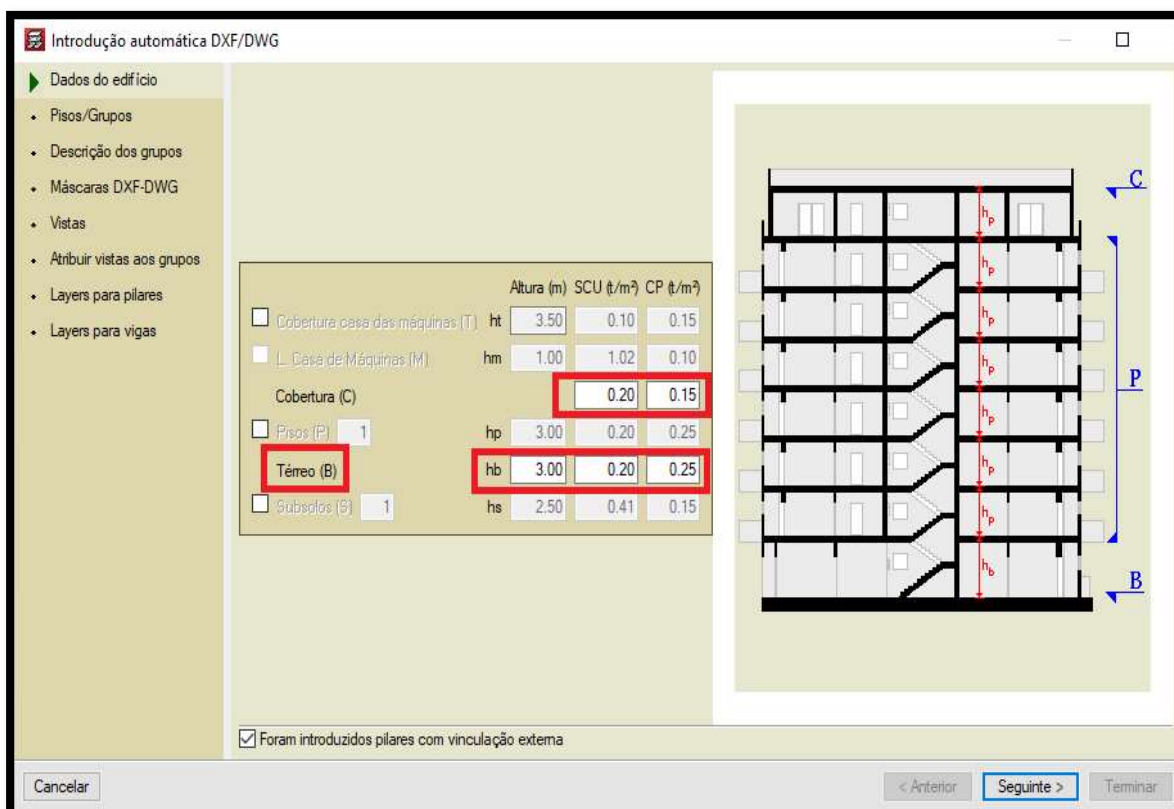


Figura 3. Lançamento de informações de empreendimento.

Como pode-se observar na Figura 3, nessa etapa foram adicionados os dados do empreendimento: altura do pé direito $h_b = 3 \text{ metros}$; sobrecarga $SCU = 0.20 \text{ t/m}^2$; e carga permanente $CP = 0.15 \text{ t/m}^2$ para cobertura e 0.25 t/m^2 para térreo.

2.3.2 Dados gerais

Após a entrada das informações anteriores o próximo passo a ser tomado é a configuração do software como mostra a Figura 4.

The screenshot displays the 'Dados gerais' (General Data) configuration window. At the top, the key is 'TFC2.1' and the description is 'OBRA CONSTRUIDA'. The 'Normas' (Standards) field is highlighted with a red box and contains 'ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14762: 2010, ABNT NBR 8800:2008, NBR 7190 e Eurocódigo 9'. The 'Concreto armado' (Reinforced Concrete) section includes dropdown menus for 'Pisos' (Floors), 'Fundação' (Foundation), 'Tubulões' (Piles), 'Pilares' (Columns), and 'Cortinas' (Walls), all set to 'C20, em geral'. The 'Características do agregado' (Aggregate characteristics) is set to 'Basalto (15 mm)'. The 'Aço' (Steel) section has 'Barras' (Bars) set to 'CA-50 e CA-60' and 'Parafusos' (Bolts) set to 'ISO 898.C4.6'. The 'Perfis' (Profiles) section includes 'Aço' (Steel) with 'Laminados e soldados' (Rolled and welded) set to 'A-36 250Mpa' and 'Dobrados' (Folded) set to 'CF-26'. The 'Madeira' (Wood) section is set to 'Vigas: C20 - Vigotas: C20 - Estruturas 3D: C20'. The 'Alumínio extrudado' (Extruded aluminum) section is set to 'EN AW-5083 - F'. The 'Ações' (Actions) section has 'Carga permanente e sobrecarga' (Permanent and superimposed load) selected, with checkboxes for 'Com ação do vento' (With wind action), 'Com ação sísmica' (With seismic action), and 'Verificar resistência ao fogo' (Check fire resistance). The 'Coeficientes de flambagem' (Slenderness coefficients) section has 'Pilares de betão e mistos' (Concrete and composite columns) and 'Pilares em aço' (Steel columns) both set to $\beta_x = 1.000$ and $\beta_y = 1.000$. The 'Ambiente' (Environment) section has 'Vigas' (Beams) set to 'CAA II (Abertura máxima de fissura: 0.30 mm)' and 'Blocos de coroamento' (Coroamento blocks) set to 'CAA II'. An 'Aceitar' (Accept) button is at the bottom.

Figura 4. Dados gerais.

Como observado na Figura 4, foi definido a norma brasileira “NBR6118:2014- PROJETO DE ESTRUTURA DE CONCRETO-PROCEDIMENTOS”, foram definidas também características do concreto e aço: para o concreto foi designado “C20, em geral” pois esse concreto foi fabricado na obra sem controle tecnológico, para essa pesquisa não foram levadas em consideração as ações do vento.

As armaduras dos pilares foram limitadas em diâmetro de 8mm, conforme Figura 5.

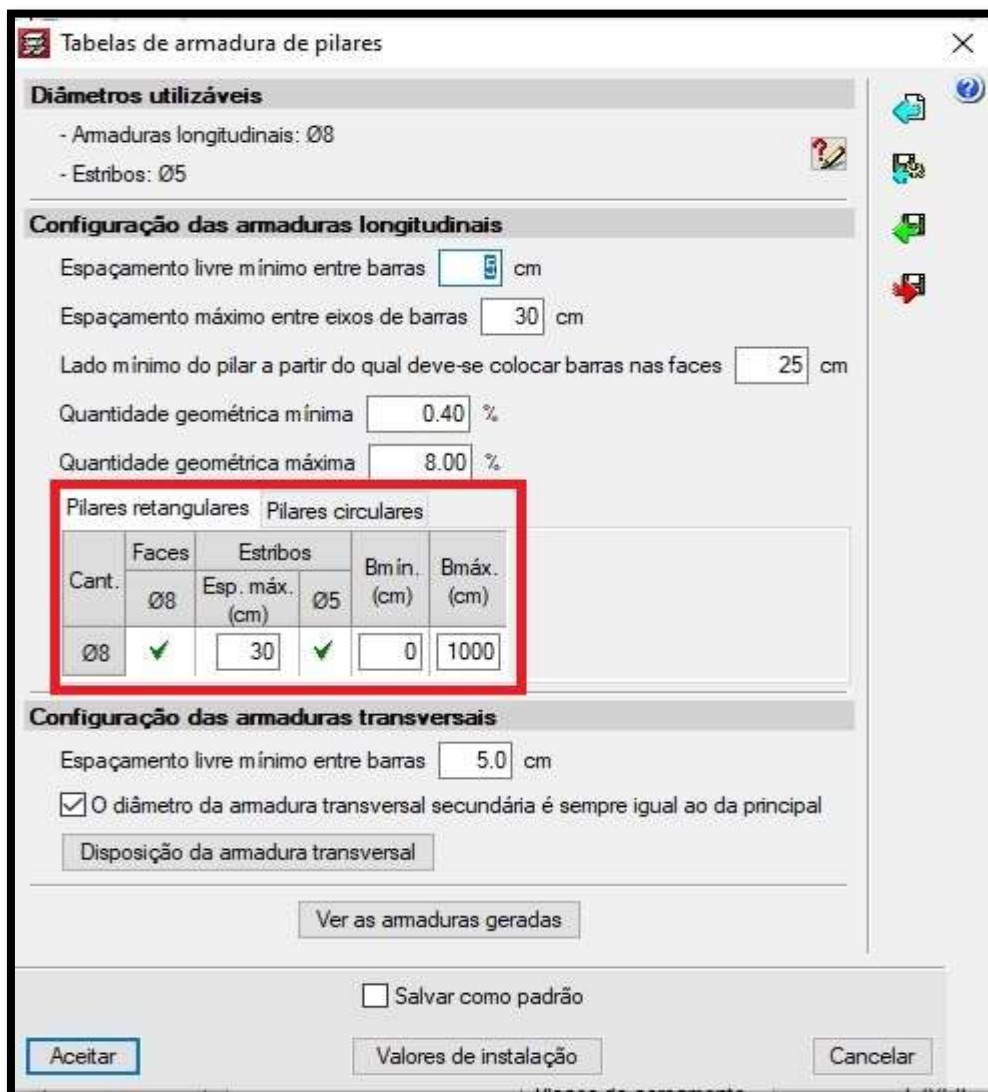


Figura 5. Tabela de armadura de pilares.

Já para armadura das vigas não foi possível executar o programa com armadura limitada em 8 mm da forma como foi executada *in loco*.

As vigas do empreendimento foram executadas com canaletas de concreto, essas canaletas foram preenchidas com concreto e aço, sendo assim para lançamento no software foram lançadas como vigas de 19x40 cm (Figura 6), que são as dimensões das canaletas utilizadas. Para analisar a estrutura no *Cypecad* foi necessário considerar as vigas de canaleta armada como sendo realizadas com concreto.

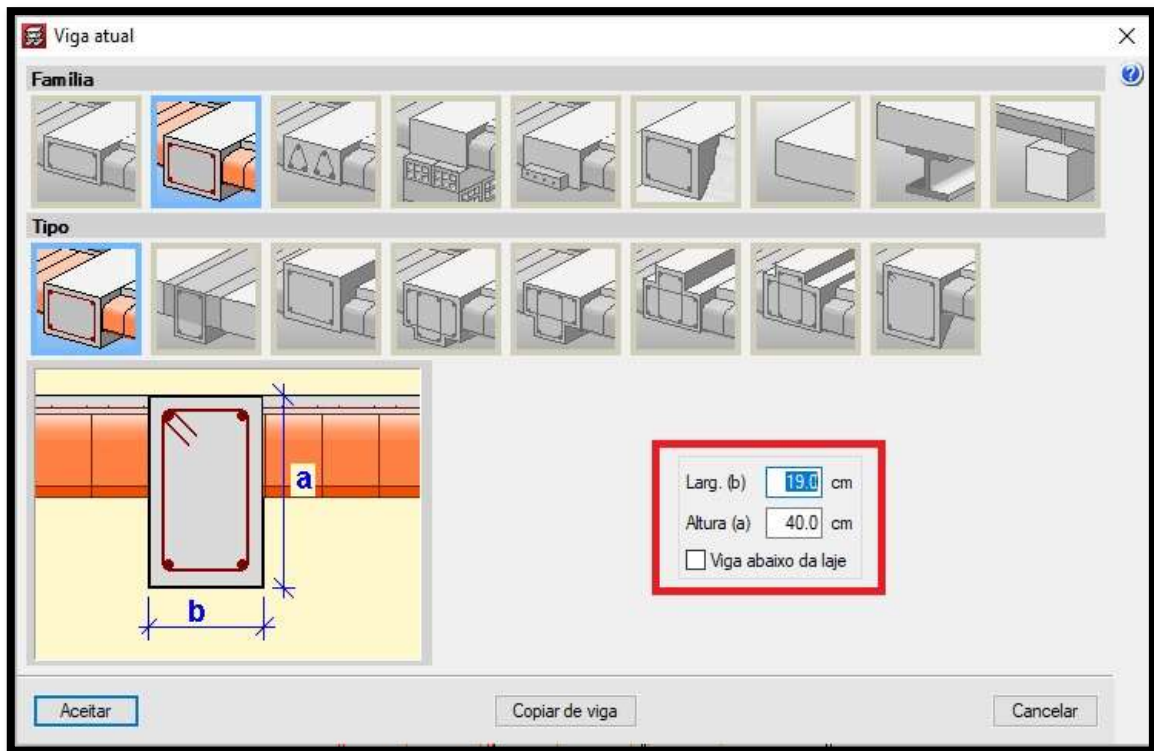


Figura 6. Dados de viga.

A laje utilizada foi laje maciça com altura de 12 cm, após o lançamento de todos os elementos estruturais, já é possível ter uma visualização 3D da estrutura (Figura 7), e já é possível fazer o cálculo da estrutura.

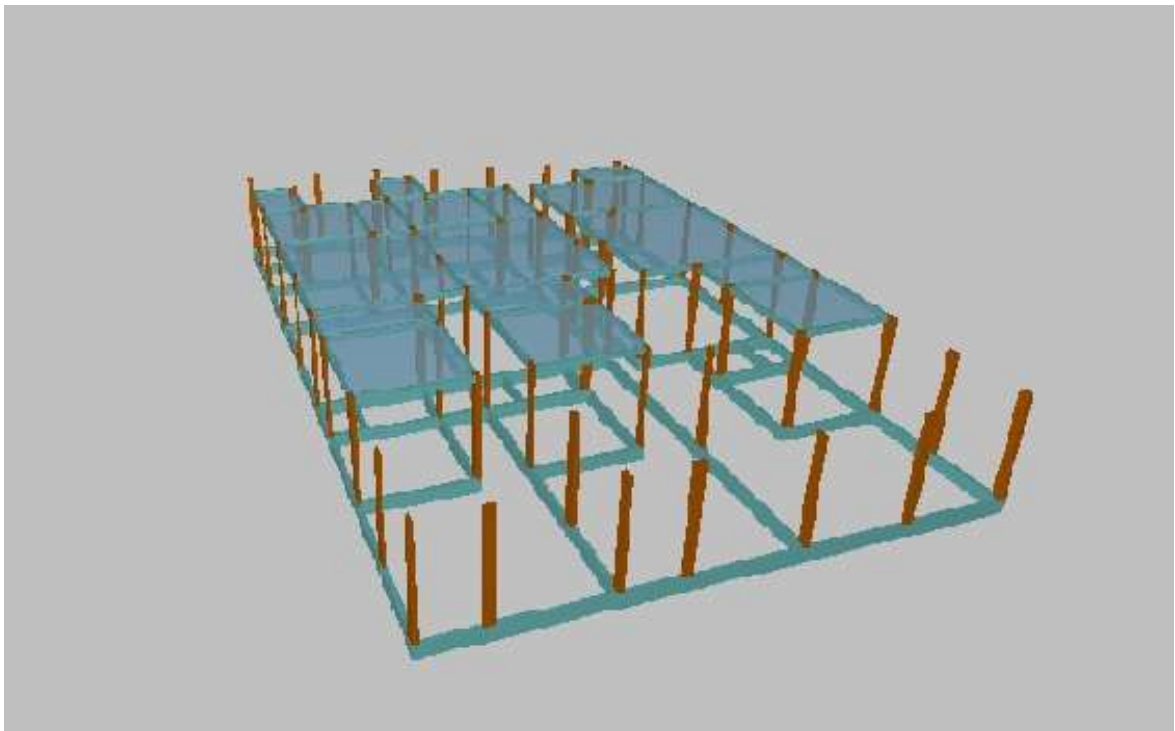


Figura 7. Imagem 3D dos elementos estruturais.

Após a análise da Estrutura 1 foram feitos ajustes para atender a NBR6118:2014 nos requisitos que anteriormente não haviam sido atendidos, os pilares foram redimensionados para seção mínima de 14 cm, como a alvenaria no projeto arquitetônico era de 12 cm os pilares foram locados de forma que o excedente ficasse voltado para onde fosse menos inconveniente, ficando como sugestão para correção um emboço de 2 cm para alinhar a alvenaria com o pilar. E as vigas foram redimensionadas para seção mínima de 15 cm. A ferragem de diâmetro de 8 mm foi bloqueada no software para que se atendesse o requisito de diâmetro mínimo de armadura longitudinal. Os dados introduzidos sobre as informações do empreendimento na Figura 3 e Figura 4 foram mantidos os mesmos, e assim foi realizada a Estrutura 2.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o cálculo de cada estrutura o software fornece os resultados de deslocamentos em x, y e z, e deformadas. Podendo assim ter uma visão antecipada da forma como a estrutura irá trabalhar, isso possibilita que seja feito ajustes para garantir a segurança e economia na edificação. Analisando os resultados das estruturas 1 e 2 temos os resultados a seguir.

Em relação à ambas estruturas: os deslocamentos em x podem ser observados nas Figura 8 e Figura 9; os deslocamentos em y nas Figura 10 e Figura 11; os deslocamentos em z nas Figura 12 e Figura 13; os pontos de maior flecha nas Figura 14 e Figura 15; e as deformadas nas Figura 16 e Figura 17.

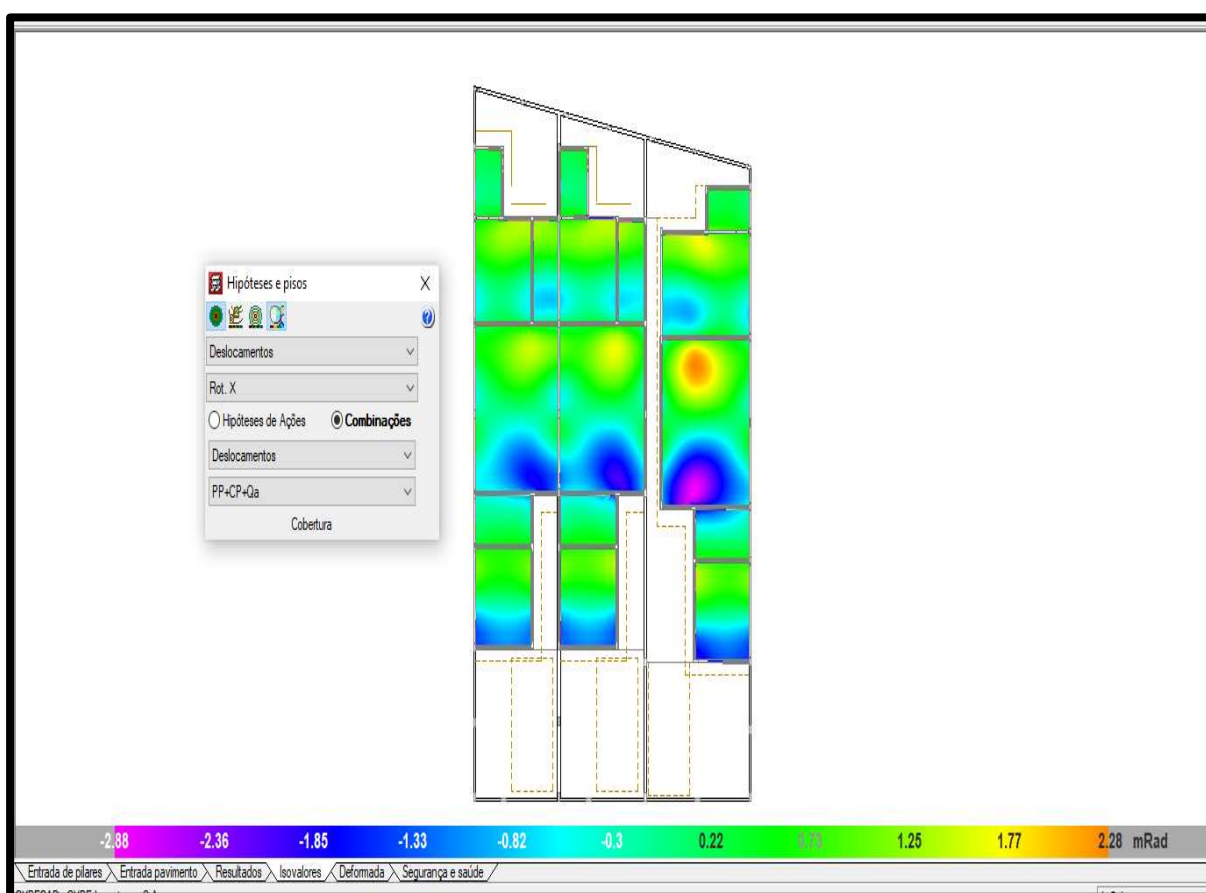


Figura 8. Deslocamentos em x na Estrutura 1.

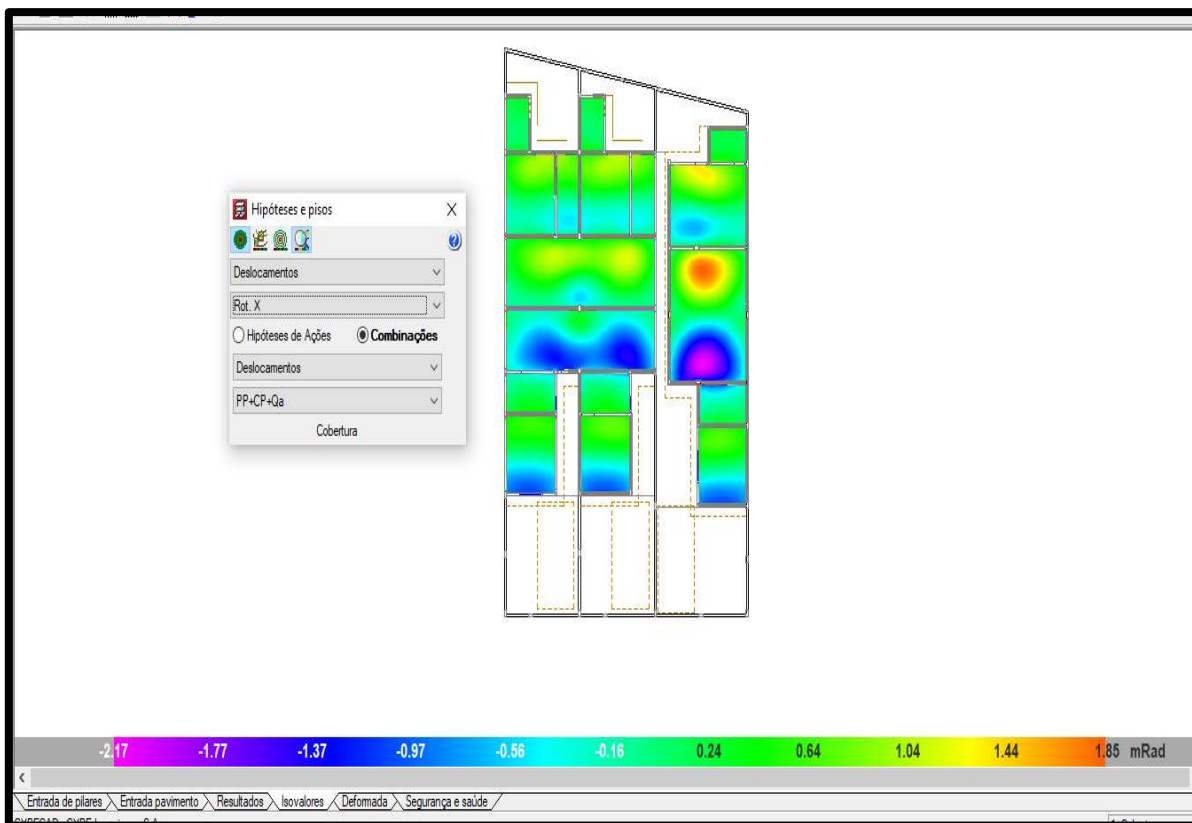


Figura 9. Deslocamentos em x na Estrutura 2.

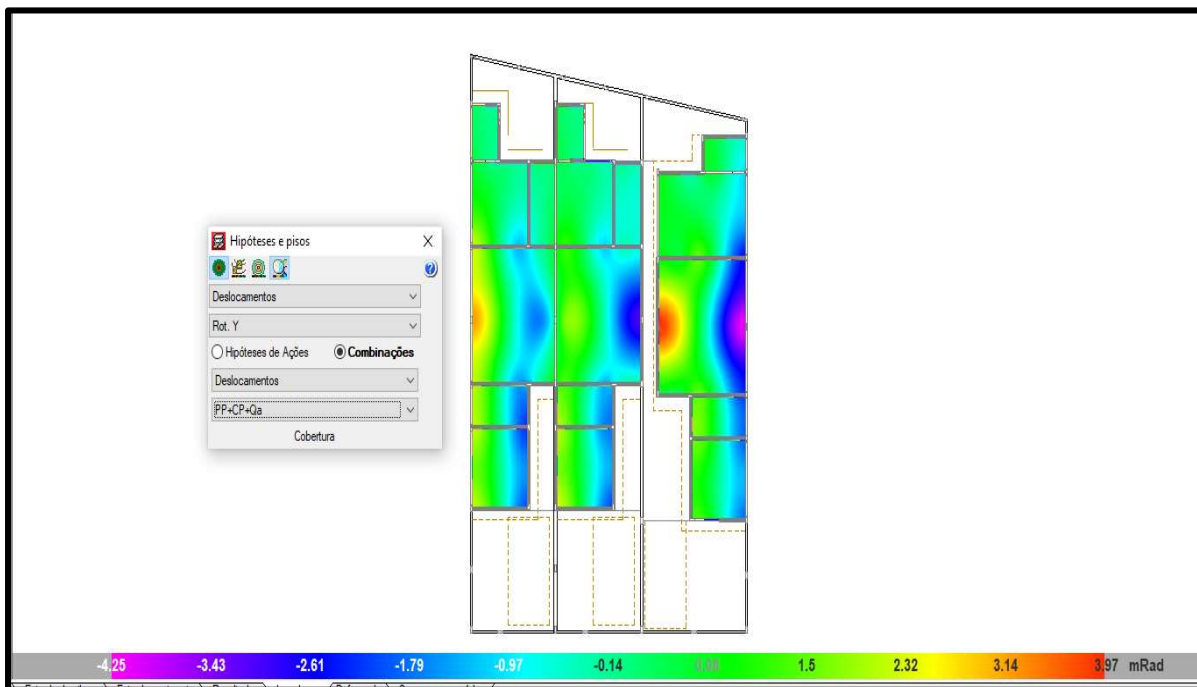


Figura 10. Deslocamentos em y na Estrutura 1.

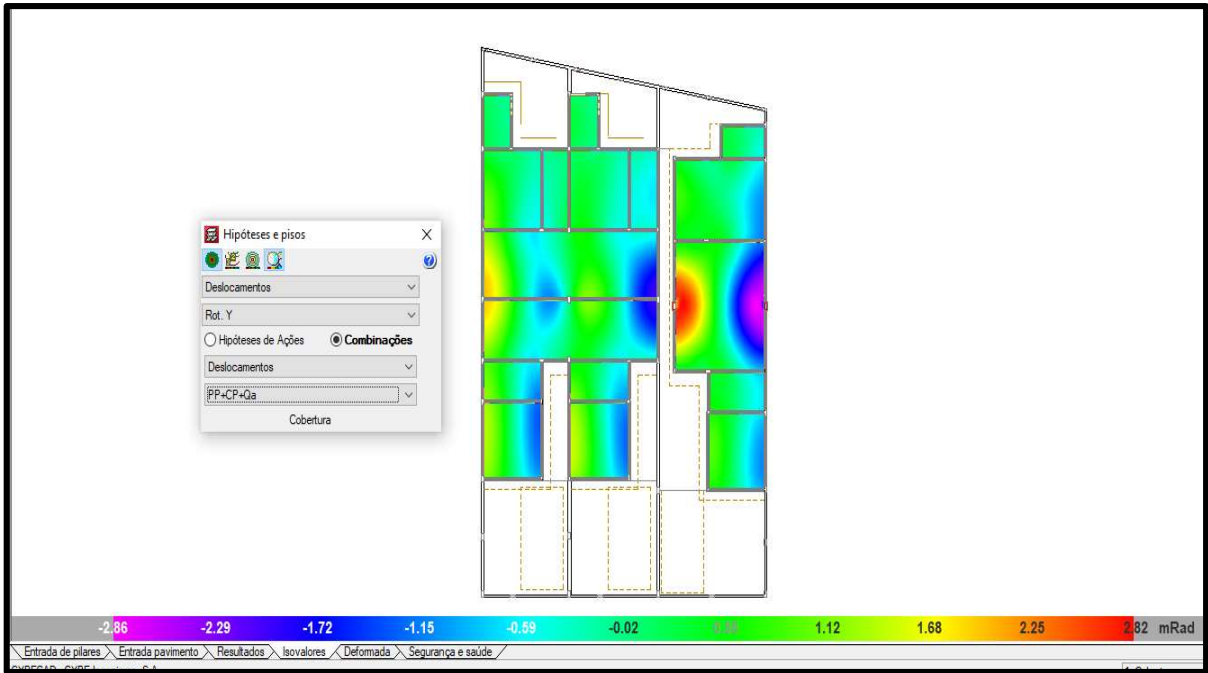


Figura 11. Deslocamentos em y na Estrutura 2.

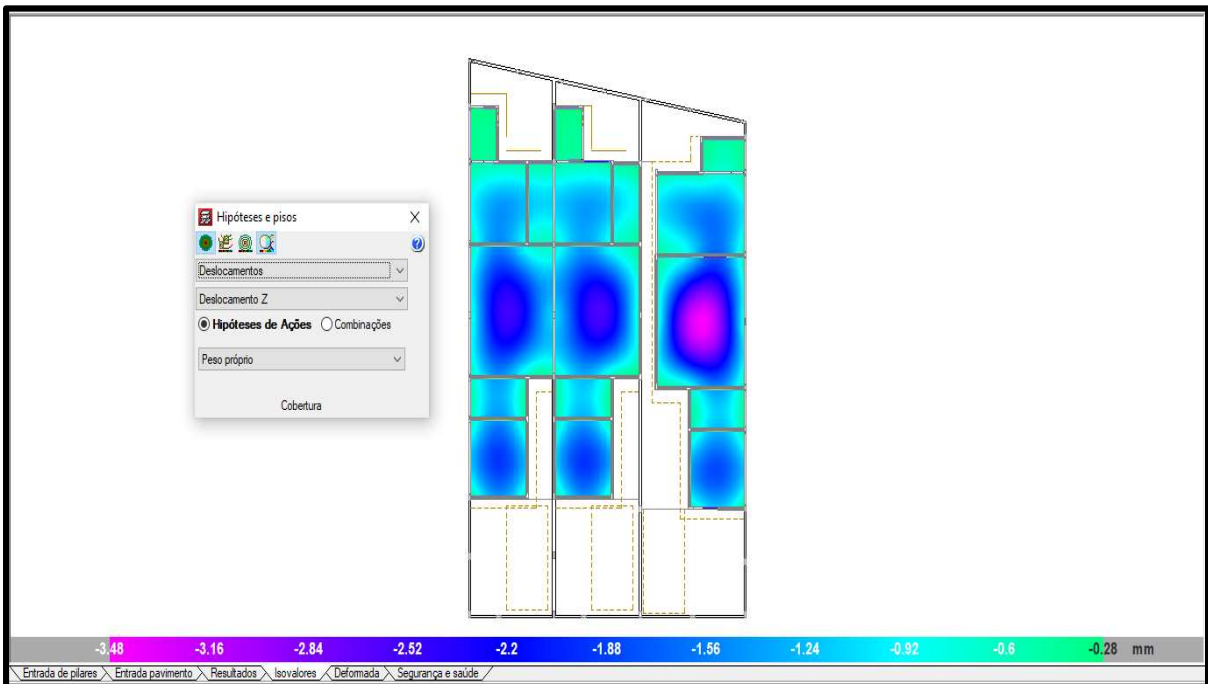


Figura 12. Deslocamentos em z na Estrutura 1.

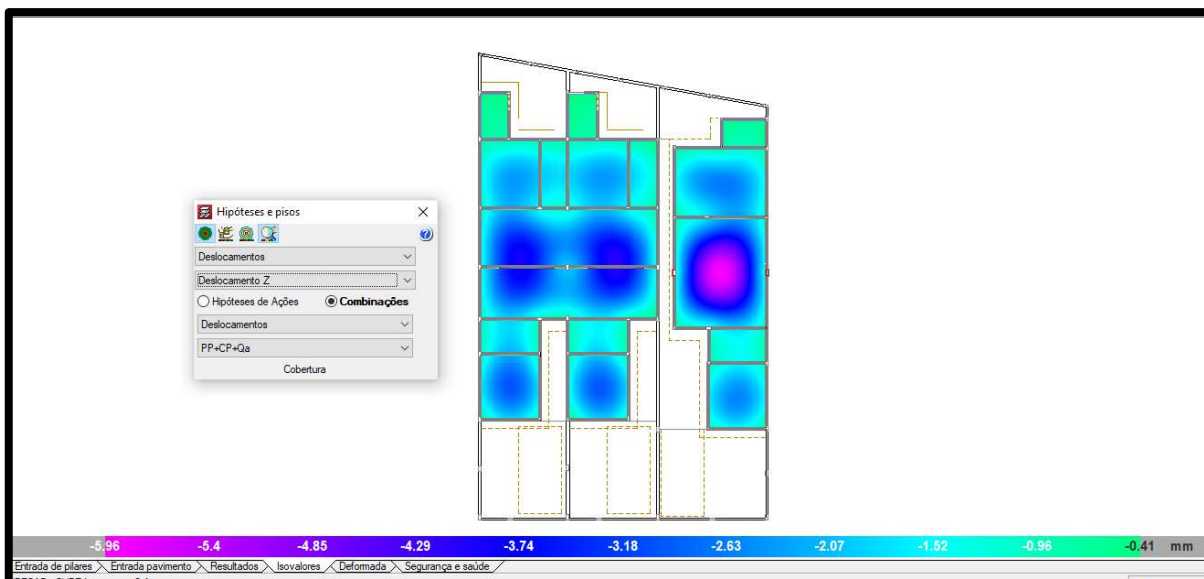


Figura 13. Deslocamentos em z na Estrutura 2.

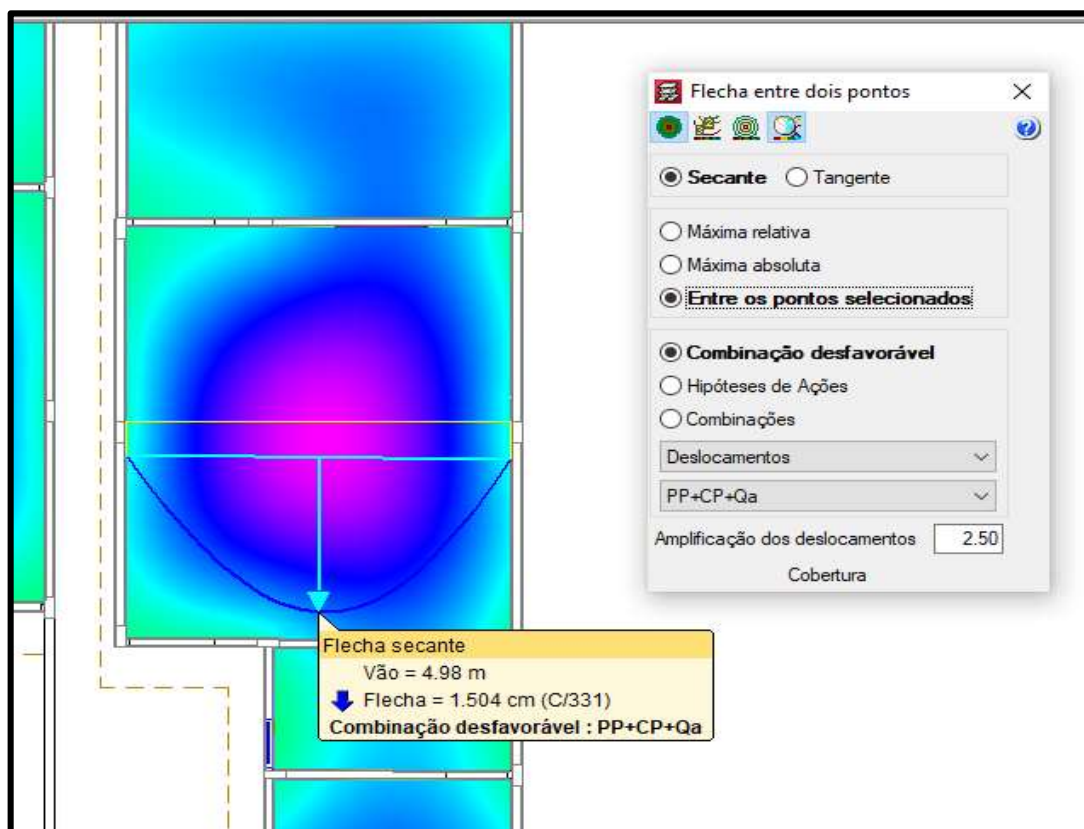


Figura 14. Ponto de maior flecha na Estrutura 1.

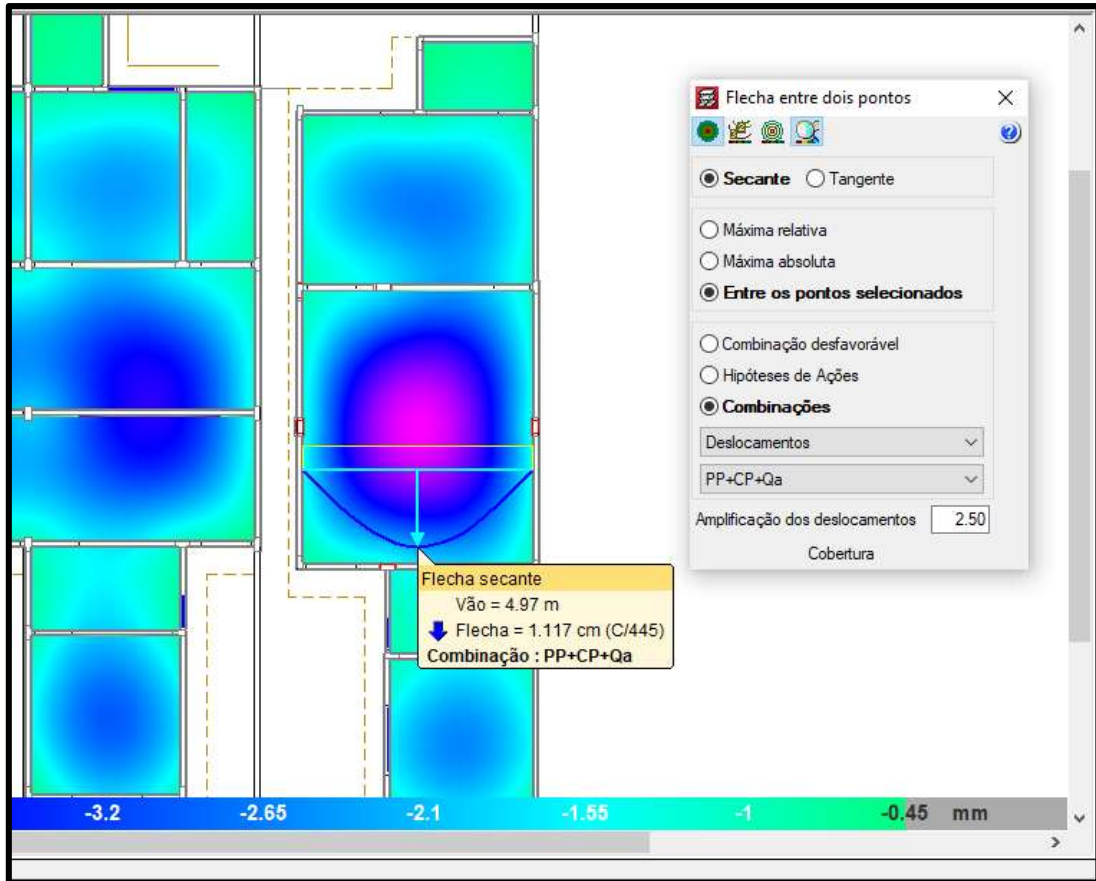


Figura 15. Ponto de maior flecha na Estrutura 2.

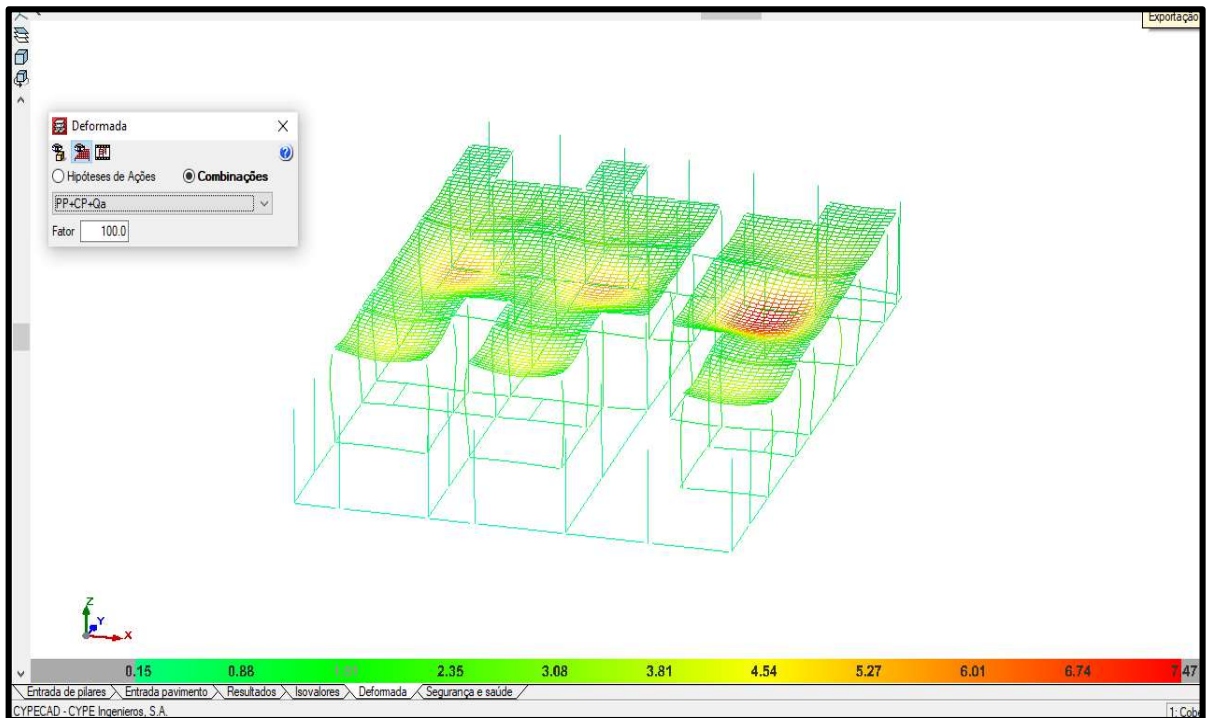


Figura 16. Deformadas na Estrutura 1.

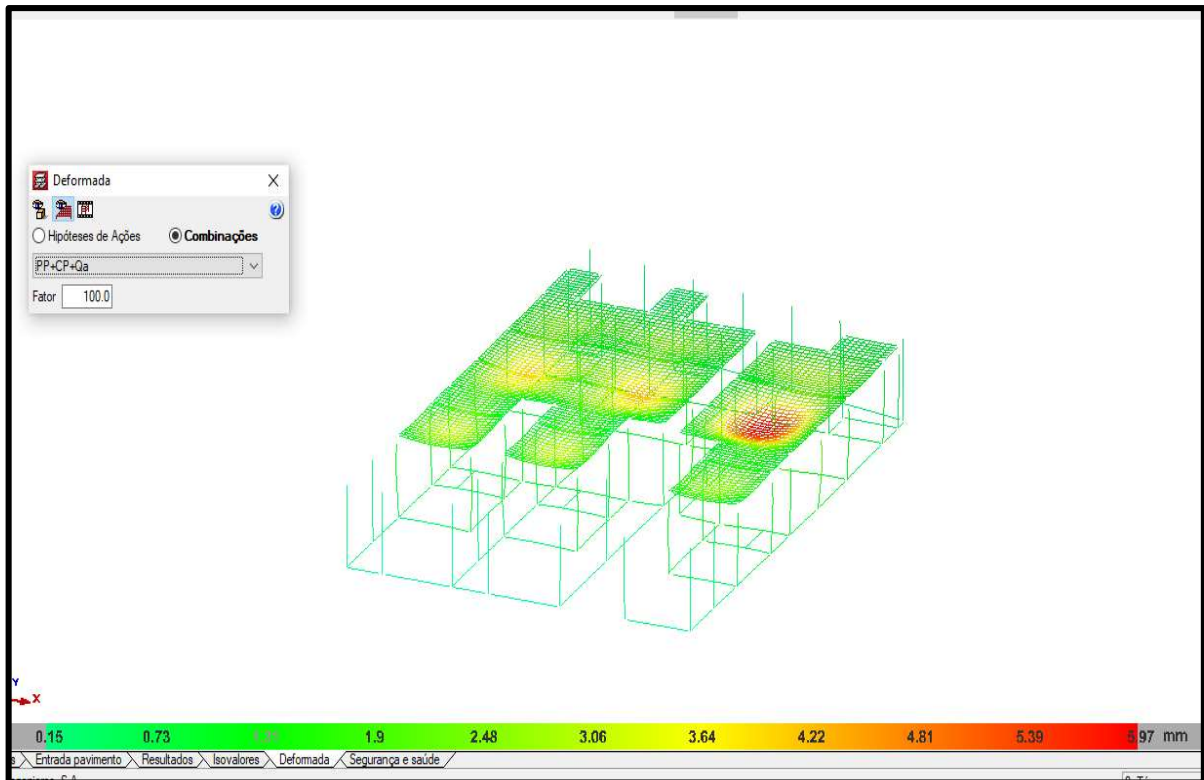


Figura 17. Deformadas na Estrutura 2.

3.1 Comparação das estruturas

Extraindo os resultados obtidos nas etapas anteriores pode-se chegar ao comparativo observado nas Tabela 1 e Figura 18.

DESLOCAMENTOS		
ESTRUTURA 1	POSITIVO	NEGATIVO
Deslocamento em x (mRad)	2.28	2.88
Deslocamento em y (mRad)	3.97	4.25
Deslocamento em z (mm)	-	7.74
ESTRUTURA 2	POSITIVO	NEGATIVO
Deslocamento em x (mRad)	1.85	2.17
Deslocamento em y (mRad)	2.82	2.86
Deslocamento em z (mm)	-	5.96

Tabela 1. Comparativo entre deslocamentos de Estrutura 1 e Estrutura 2.

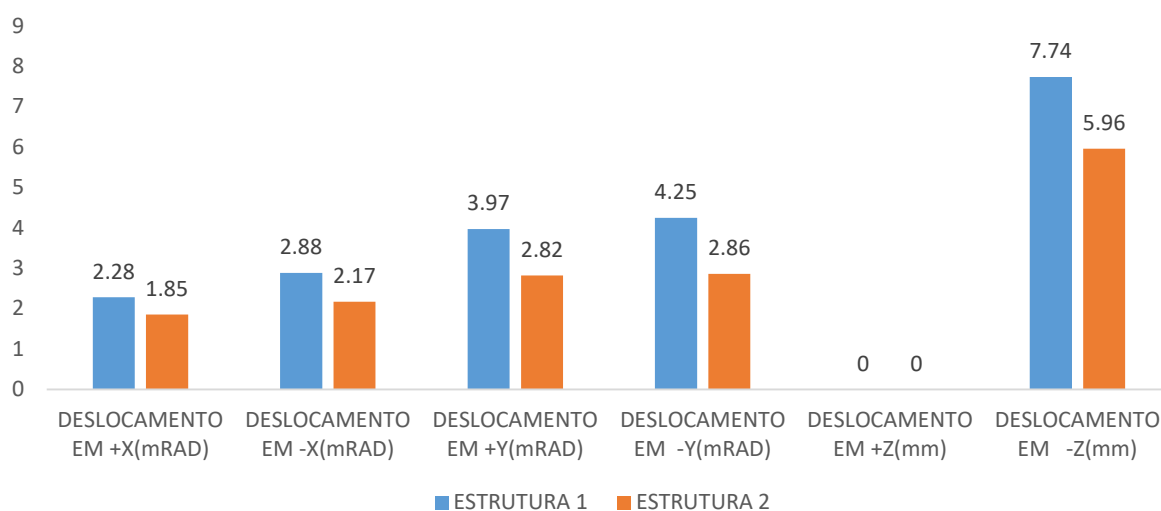


Figura 18. Gráfico comparativo dos deslocamentos.

Pode-se observar que em todos os parâmetros de deslocamentos a Estrutura 2 foi a que obteve os resultados mais satisfatórios. A Estrutura 2 também obteve resultado de flecha inferior a Estrutura 1 e pode-se observar que nos resultados de deformadas embora ambas as estruturas obtiveram pontos críticos, a Estrutura 2 apresentou os melhores resultados.

Terminado o dimensionamento o software possibilita a emissão de relatório de materiais, esse relatório facilita a execução do orçamento. Comparando os relatórios das duas estruturas pode-se verificar o exposto na Figura 19.

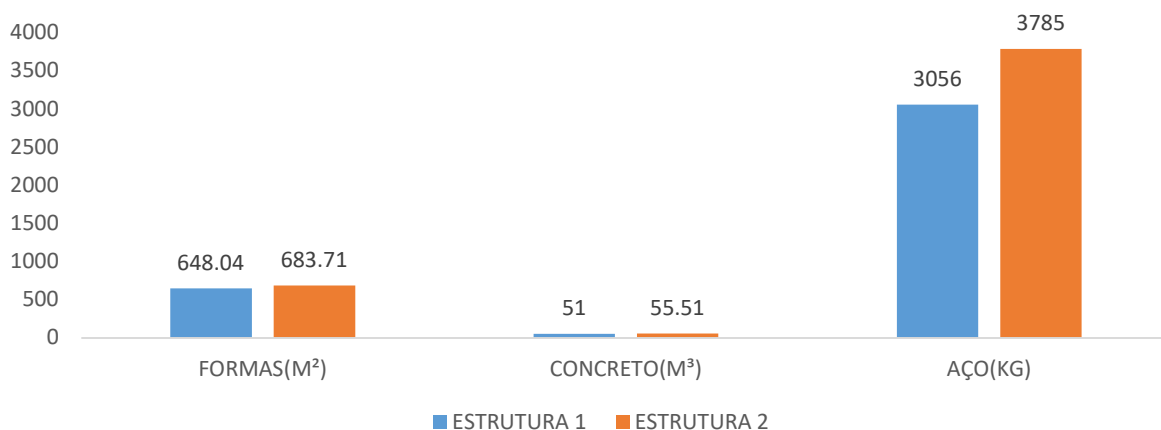


Figura 19. Gráfico comparativo dos materiais.

Como pode ser observado no gráfico, a Estrutura 1 obteve um menor consumo de formas, concreto e aço isso era esperado pois a NBR6118:2014 não foi observada nos requisitos de dimensão mínima de pilar e diâmetro mínimo de armadura longitudinal. A Estrutura 2 teve um consumo superior de: 6% em formas, 9% em concreto e 24% de aço.

4 CONCLUSÃO

Após o dimensionamento e análise das duas estruturas foi possível observar a importância de se realizar um projeto estrutural com as devidas verificações das normas técnicas para garantir a qualidade da edificação.

Pode-se observar que a estrutura que não verificou os requisitos da NBR6118:2014 obteve a análise menos satisfatória, com maiores deformações em x, y e z. Essa situação da estrutura pode vir a ocasionar patologias na edificação, e como o responsável deve garantir a qualidade da edificação isso ocasionaria em custo com manutenção.

Deve-se ressaltar que para o dimensionamento no software foi considerado que as vigas foram executadas com concreto armado, mas na realidade as vigas da Estrutura 1 foram executadas com canaletas armadas. Levando isso em consideração pode-se dizer que os resultados reais da Estrutura 1 são na realidade ainda mais críticos que os obtidos.

Observou-se também que apenas com a simples adequação à norma nos requisitos de dimensão mínima de pilar, viga e diâmetro mínimo de armadura longitudinal foi possível reduzir as deformações e os pontos críticos na estrutura.

Deve-se considerar que os resultados obtidos se tratam de uma edificação de pequeno porte, então a diferença nos resultados embora seja pequena já demonstra o quanto a não verificação dos requisitos mínimos das normas técnicas pode vir a ser perigosa.

Para que situações como essa não continuem se repetindo, uma solução seria que agentes financiadores como a Caixa Econômica Federal, entre outras, adotassem como requisitos para financiamentos de imóveis a apresentação de projeto estrutural.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro. p. 23. 2008.

FISCHER, Nádia. **Softwares auxiliam o cálculo estrutural**. 73. ed. abr. 2003. Técnica. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/73/artigo285268-1.aspx>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MULTIPLUS. **CYPECAD**. Disponível em: <<https://multiplus.com/software/cypecad/>>. Acesso em: 13 mai. 2019.

