

ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTABILIDADE GLOBAL COM USO DE SOFTWARES

COMPARATIVE ANALYSIS OF GLOBAL STABILITY USING SOFTWARE

Arthur Ferraz Oliveira,
Anderson dos Santos Souza,
Patrícia Cândida Souza da Silva

RESUMO

A existência de diversos softwares de cálculo estrutural no mercado tem feito com que engenheiros e estudantes de engenharia tenham uma série de dúvidas sobre qual programa utilizar, qual é o mais econômico, quais as diferenças entre eles e qual o resultado mais próximo de um reforço estrutura de concreto e comportamento real. Alguns padrões e métodos são usados para avaliar aspectos importantes da estabilidade global e local. Entre eles, é necessário citar os parâmetros instáveis α e Gama-z. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo apresentar os conceitos básicos dos parâmetros instáveis α e Gamma-z com base no conteúdo claramente definido na norma brasileira ABNT NBR 6118. Este estudo tem como objetivo analisar e comparar os detalhes utilizados no projeto e estruturas de concreto armado. O primeiro programa é denominado Cypecad, um software CAD tradicional desenvolvido na Espanha, normalmente utilizado para o projeto de estruturas monolíticas de concreto armado. O segundo programa, o software estrutural brasileiro TQS, também possui os mesmos atributos do primeiro, mas seu desenvolvedor é brasileiro. A norma adotada para o dimensionamento foi NBR 6118:2014. Para fins de pesquisa, foram iniciadas no programa duas estruturas idênticas (estruturas experimentais), com os mesmos elementos e os mesmos parâmetros de cálculo, uma em cada software, fazendo os ajustes necessários e executando o processo de projeto.

Palavras-Chave: estabilidade global, análise estrutural, softwares estruturais, Gama-z.

ABSTRACT

The existence of several structural calculation software on the market has made engineers and engineering students have a series of doubts about which program to use, which is the most economical, what are the differences between them and what is the closest result of a reinforced structure of concrete and real behavior. Some standards and methods are used to assess important aspects of global and local stability. Among them, it is necessary to mention the unstable parameters α and Gamma-z. In this sense, this article aims to present the basic concepts of the unstable parameters α and Gamma-z based on the content clearly defined in the Brazilian standard ABNT NBR 6118. This study aims to analyze and compare the details used in the design and concrete structures armed. The first program is called Cypecad, a traditional CAD software developed in Spain, normally used for the design of monolithic reinforced concrete structures. The second program, the Brazilian structural software TQS, also has the same attributes as the first, but its developer is Brazilian. The standard adopted for the design was NBR 6118:2014. For research purposes, two identical structures (experimental structures) were started in the program, with the same elements and the same calculation parameters, one in each software, making the necessary adjustments and executing the design process.

Keywords: global stability, structural analysis, structural software, Gamma-z.

1. Introdução

A construção civil atualmente é uma das maiores indústrias do planeta, e como tal, tem grande valor na contribuição para os avanços da sociedade como um todo. A utilização de programas computacionais na Engenharia Civil vem evoluindo a cada dia e esse é um grande diferencial na busca da eficiência e eficácia produtiva do setor.

É notório o quão abrangente é a presença de softwares no ramo da engenharia, além de oferecerem a modelagem completa da estrutura, demonstra todo seu detalhamento. Contudo é importante destacar que dentro do contexto atual, o uso da ferramenta computacional não dispensa o conhecimento e a experiência do profissional, tendo em vista que auxiliam muito na execução de tarefas do dia a dia.

Segundo (Soriano, 2004), por mais elaborado que seja o sistema, ele não é capaz de uma perfeita verificação de consistência, como identificação de dados em unidades não compatíveis entre si, propriedades de seção trocadas, carregamentos inadequados, etc. A análise da estabilidade global das edificações tem grande importância, pois a ruína pode manifestar-se acarretando grandes prejuízos. Deve-se, portanto, analisar os riscos que a esbeltez traz à edificação e qual a consequência da estabilidade principalmente em estruturas de múltiplos pavimentos em decorrência dos efeitos de segunda ordem.

Efeitos de segunda ordem são aqueles efeitos que são adicionados à análise de primeira ordem (na qual o equilíbrio estrutural é estudado na configuração geométrica inicial), quando a análise de equilíbrio é realizada com a configuração deformada em mente. Sob a ação de cargas verticais e horizontais, os nós da estrutura se movem horizontalmente.

Os efeitos de segunda ordem produzidos por esses deslocamentos são chamados de efeitos globais de segunda ordem. Em barras de aço estrutural, como vãos de coluna, o eixo correspondente não permanecerá reto, resultando em um efeito local de segunda ordem, que em princípio afeta principalmente os esforços ativos ao longo delas. (NBR 6118: 2014)

A NBR 6118:2014 afirma no item 15.3.2 que para pilares de seção retangular, quando houver a necessidade de calcular os efeitos locais de 2ª ordem, a verificação do momento mínimo pode ser considerada atendida quando, no dimensionamento adotado, obtém-se uma envoltória resistente que englobe a envoltória mínima com 2ª ordem, cujos momentos totais são calculados a partir dos momentos mínimos de 1ª ordem.

A norma brasileira NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto, designa no item 15.5 os procedimentos para dispensa dos efeitos de 2ª ordem pelos parâmetros de instabilidade alfa (α) e Gama-z (γ_z), cujo os mesmos, são processos aproximados para indicar se a estrutura pode ser classificada como de nós fixos ou de nós móveis. O parâmetro α se trata de uma metodologia mais simples de ser elaborada e tem a mesma finalidade de estabelecer se uma estrutura é de nós móveis ou de nós fixos assim como o parâmetro Gama-z. O coeficiente γ_z de avaliação da importância dos esforços de segunda ordem globais é válido para estruturas reticuladas de no mínimo quatro andares. Segundo a NBR 6118, este pode ser determinado a partir dos resultados de uma análise linear de primeira ordem, para cada caso de carregamento.

Tendo conhecimento da importância da avaliação do comportamento da estrutura por meio da análise global, o objetivo do presente estudo é realizar a análise comparativa entre dois softwares comerciais utilizados na modelagem e dimensionamento e detalhamento de estruturas de concreto armado e, através dos resultados obtidos, verificar possíveis diferenças ou semelhanças existentes.

1.1 Considerações iniciais

O comportamento da estrutura é muito importante, pois o efeito horizontal causado pelo vento terá um impacto imprevisível na estrutura, que está relacionado a outros efeitos combinados, podendo até fazer com que a estrutura seja interceptada. Este estudo tem como finalidade apresentar as principais análises realizadas por software computacional do projeto em questão, bem como seus conceitos, relativo à estabilidade da estrutura, onde serão calculados os esforços resultantes de ações verticais e horizontais que podem prejudicar a estabilidade global da estrutura. Ao término das verificações, por meio dos programas computacionais, será comparada a variedade de resultados entre eles em relação à norma NBR 6118:2014.

Para execução da análise, em cada um dos softwares, foi utilizada a mesma estrutura fundamentada em uma edificação multifamiliar. A edificação conforme ilustrada na Figura 1 é constituída por:

- Fundação, em sapatas mais arranque de pilares (cota -4,0m);
- Pavimento térreo, com lajes maciças, pilares e vigas (cota 0,0m);
- Pavimento tipo composto de 3 pisos, com lajes maciças, pilares e vigas (cota 5,0m a 11,0m);
- Pavimento cobertura, também com a mesma composição estrutural (cota 14,0m)

1.2 Fatores considerados para estabilidade

Antes de dar início a análise da estrutura, deve saber como ela se comporta. Visando os objetivos deste trabalho, será feita a verificação da estrutura pelo Estado Limite Último, onde é considerado a não-linearidade no comportamento dos materiais. Os fatores probabilísticos de estabilidade considerados na estrutura são selecionados por meio de janela gráfica no software no início do lançamento da estrutura, sendo eles:

V0 - Velocidade básica	35	m/s
S1 - Fator do terreno	1.00	
S2 - Categoria de rugosidade	IV	
S2 - Classe da edificação	B	
S3 - Fator estatístico	1.00	

Figura 1. Fatores probabilísticos

1.2.1 Velocidade básica

Para questões de cálculos foram consideradas 4 direções de vento atuando sobre a estrutura, vento a 180° e 0° (direção x) e vento a 270° e 90° (direção y). As forças horizontais em razão da ação do vento foram estipuladas através da NBR 6123:

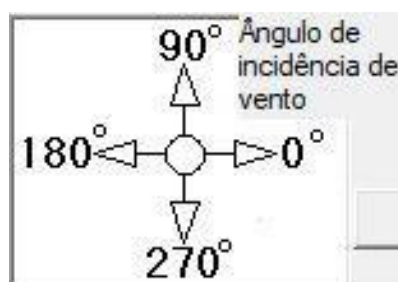


Figura 2. Direção adotada para atuação do vento

Segundo a NBR 6123, a velocidade básica do vento (V_0) pode ser obtida através do gráfico de isopletas. É a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano. Para fins de cálculo foi considerada a velocidade de 35 m/s.

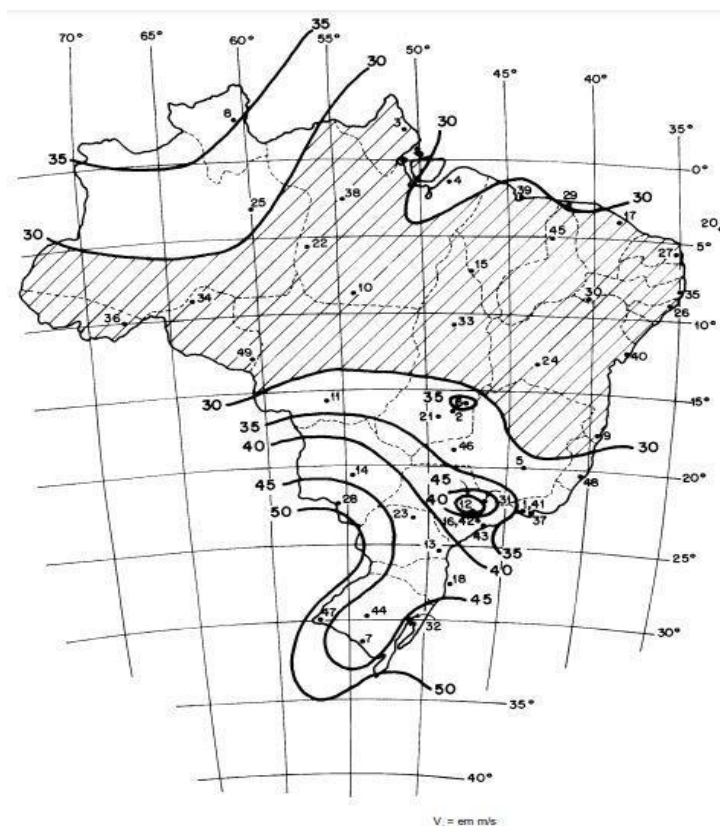


Figura 3. Isopleta de velocidade básica do vento (NBR 6123)

1.2.2 Fator do terreno: S_1

De acordo com NBR 6123, o fator topográfico S_1 leva em consideração as variações do relevo do terreno. A norma fornece os valores mostrados a seguir.

- Terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$
- Taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado na Figura (determinar)
 - No ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes): $S_1 = 1,0$
 - No ponto B: [S_1 é uma função $S_1(z)$]
 - $\theta \leq 3^\circ$: $S_1(z) = 1,0$
 - $6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ$: $S_1(z) = 1 + (2,5 - z/d) \cdot \tan(\theta - 3^\circ) \geq 1,0$
 - $\geq 45^\circ$: $S_1(z) = 1 + (2,5 - z/d) \cdot 0,31 \geq 1$

Onde:

z = altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado

d = diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro

θ = inclinação média do talude ou encosta do morro

- Vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção: $S_1 = 0,9$.

1.2.3 Categoria do terreno: S_2

A NBR 6123 afirma que o fator de rugosidade S_2 leva em consideração o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração. A rugosidade do terreno é classificada em cinco categorias.

Caixa de diálogo "Categoria de rugosidade" com as seguintes opções:

- ☐ I - Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão. Mar calmo, lagos, rios, pântanos sem vegetação.
- ☐ II - Terrenos abertos com poucos obstáculos. Árvores, edificações baixas, zonas costeiras, vegetação rala, pradaria.
- ☐ III - Terrenos planos ou ondulados, com obstáculos. Muros, árvores, edificações baixas, fazendas, subúrbios com casas baixas.
- ☒ IV - Terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados. Zona florestal, industrial, urbanizada, parques, subúrbios densos.
- ☐ V - Terrenos com obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Florestas com árvores altas, centros de grandes cidades, complexos industriais.

Botões: OK, Cancelar

Figura 4. Fator de rugosidade S_2

1.2.4 Classe da edificação: S_2

A NBR 6123 estabelece que a velocidade do vento varia continuamente, e seu valor médio pode ser calculado sobre qualquer intervalo de tempo. Foi verificado que o intervalo mais curto das medidas usuais (3 s) corresponde a rajadas cujas dimensões envolvem convenientemente obstáculos de até 20 m na direção do vento médio. Dado pressuposto, foram definidas as seguintes classes de edificações.

Caixa de diálogo "Classe da edificação" com as seguintes opções:

- ☐ A - Maior dimensão horizontal ou vertical < 20 m
- ☒ B - Maior dimensão horizontal ou vertical entre 20 e 50 m
- ☐ C - Maior dimensão horizontal ou vertical > 50 m

Botões: OK, Cancelar

Figura 5. Classe da edificação S_2

1.2.5 Fator estatístico: S_3

O fator estatístico S_3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

Caixa de diálogo "Fator estatístico" com as seguintes opções:

- ☐ 1.10 - Edificações onde se exige maior segurança. Hospitais, quartéis, forças de segurança, comunicação, etc.
- ☒ 1.00 - Edificações em geral. Hotéis, residências, comércio e indústria com alta taxa de ocupação.
- ☐ 0.95 - Edificações com baixo fator de ocupação. Depósitos, silos, construções rurais, etc.
- ☐ 0.88 - Vedações. Telhas, vidros, painéis de vedação, etc.
- ☐ 0.83 - Edificações temporárias. Edificações durante a fase de construção.

Botões: OK, Cancelar

Figura 6. Fator estatístico S_3

1.3 Arquitetura

O edifício residencial possui três pavimentos-tipo, com dois apartamentos por pavimento e uma garagem no andar térreo.

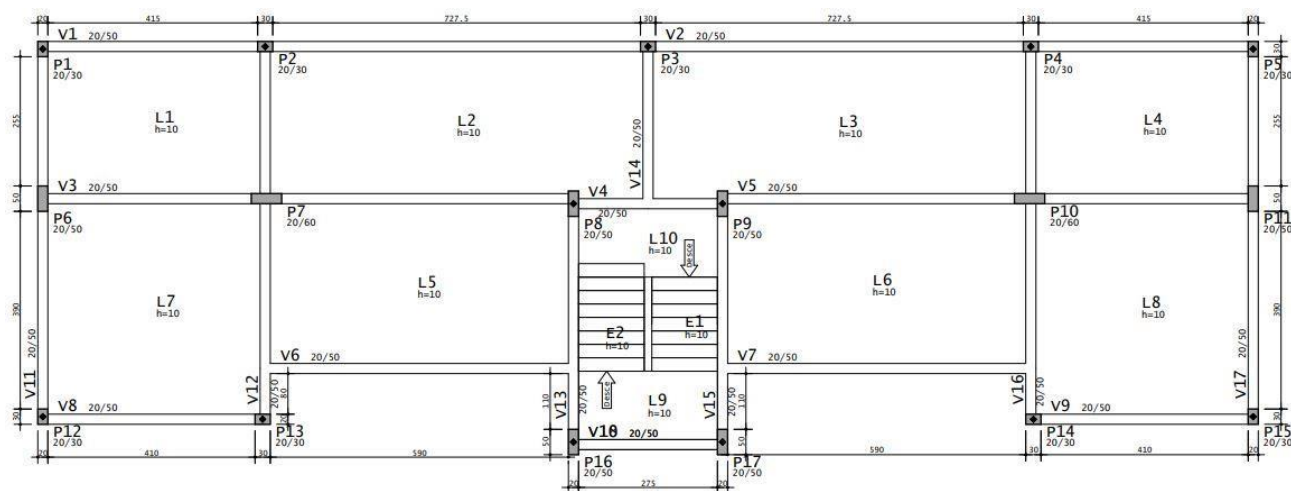


Figura 7. Planta baixa pavimento tipo (Autor)

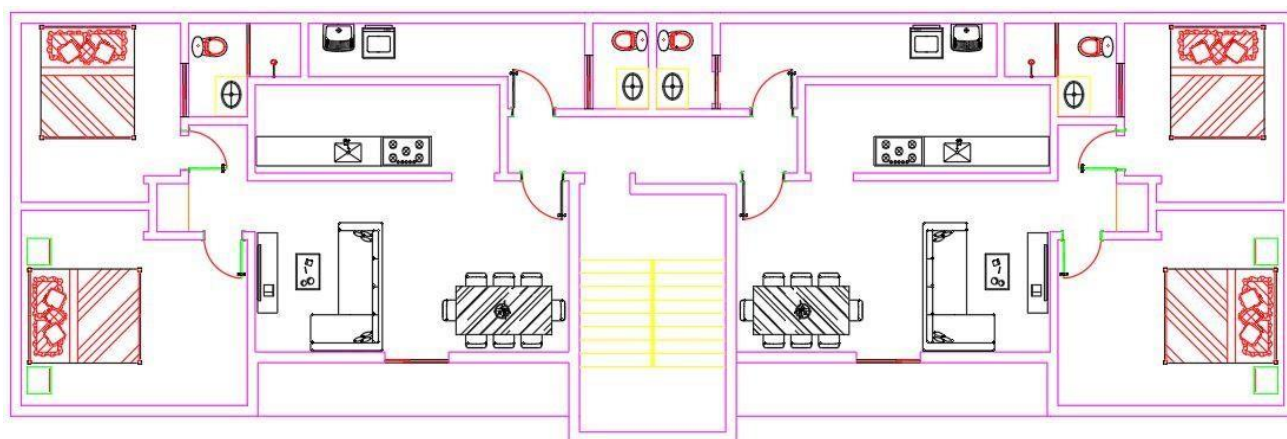


Figura 8. Planta baixa pavimento tipo - apartamentos (Autor)

Para este estudo, serão utilizados dois softwares de dimensionamento e cálculo estrutural, um desses sendo o **Cypecad versão 2017.m** de junho da referida versão, que como mencionado anteriormente, é um software para o cálculo e dimensionamento de estruturas de concreto armado, pré-moldado, protendido e misto de concreto e aço, incluindo a fase de lançamento inicial do projeto até a análise e cálculo estrutural, dimensionamento do elemento e detalhamento final.

O outro será o software **TQS versão V22 estudantil**, que pelo que como o próprio desenvolvedor define em seu sítio eletrônico (www.tqs.com.br/systems), tendo como seu objetivo detalhar os projetos estruturais de edifícios de concreto armado. É composto por um conjunto de sistemas que fornecem os recursos necessários para o projeto estrutural, análise estrutural, tamanho do reforço e projeto detalhado, geração de desenhos e plano de liberação de forma totalmente integrada e automatizada.

A análise solicitada é realizada através de cálculos espaciais 3D, através do método da matriz de rigidez, levando em consideração todos os elementos que definem a estrutura: pilares, paredes, vigas e lajes.

E relacionado ao tema deste artigo, os efeitos de 2ª ordem ($P\Delta$) serão considerados, pois segundo a norma NBR 6118:2014, na qual se trata de uma estrutura que pode ser classificada como sendo de nós fixos, sendo um prédio de três pavimentos tipo e logo irá ter a consideração das ações do vento atuando em sua estrutura.

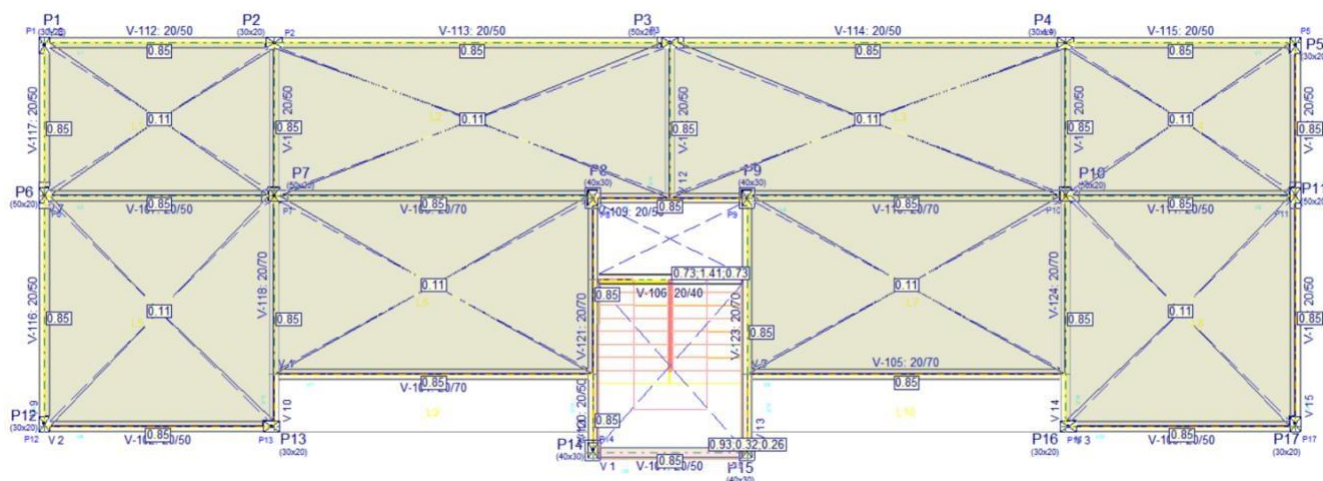
1.3 Considerações para o lançamento da estrutura

A estrutura foi modelada e estruturada de maneira igual em ambos os softwares, mantendo as características de carregamento, sobrecarga, cargas acidentais e permanentes. Os detalhes técnicos cada ferramenta irá ser esmiuçada em tópicos futuros, cabendo a este momento ao demonstrativo ilustrado dos lançamentos da estrutura, na qual deixará mais bem compreendido as proporções tridimensionais da estrutura.

As estruturas da fundação, escada e caixa d'água foram lançados por último, pois sendo essas estruturas mais complexas de mensuração em ambos os softwares. O usuário podendo escolher a tipologia e formatos que mais convém em cada caso e posteriormente com os resultados recebidos, modificando e adaptando o projeto para melhor estabilização e conforto estrutural. E assim foi feito com esta obra, na qual os elementos foram analisados, lançados e seus resultados estudados conforme foram gerados.

Cada consideração de carga sobre laje e vigas foi pensando nas cargas de uso, como as alvenarias, revestimento, piso, contrapiso e sobrecargas de água causados pela caixa d'água de aproximadamente 12m³, lançada na cota de 14,7m e como os efeitos de segunda ordem já levados em consideração sobre toda a estrutura, não foi assim considerado um acúmulo desta análise neste elemento.

Em seguida estará os lançamentos feitos tanto no Cypecad quanto no TQS, definindo as dimensões estruturais (vigas e pilares numerados por um pavimento tipo), demonstrativo dos valores das cargas e sobrecargas nos elementos. Por não ser o foco deste artigo, os demonstrativos de obtenção dos valores de lançamento não estarão constando neste documento, logo por ser o mesmo lançamento diferindo o software de uso, os valores a serem considerados e comparados serão os resultados vindos dos mesmos.



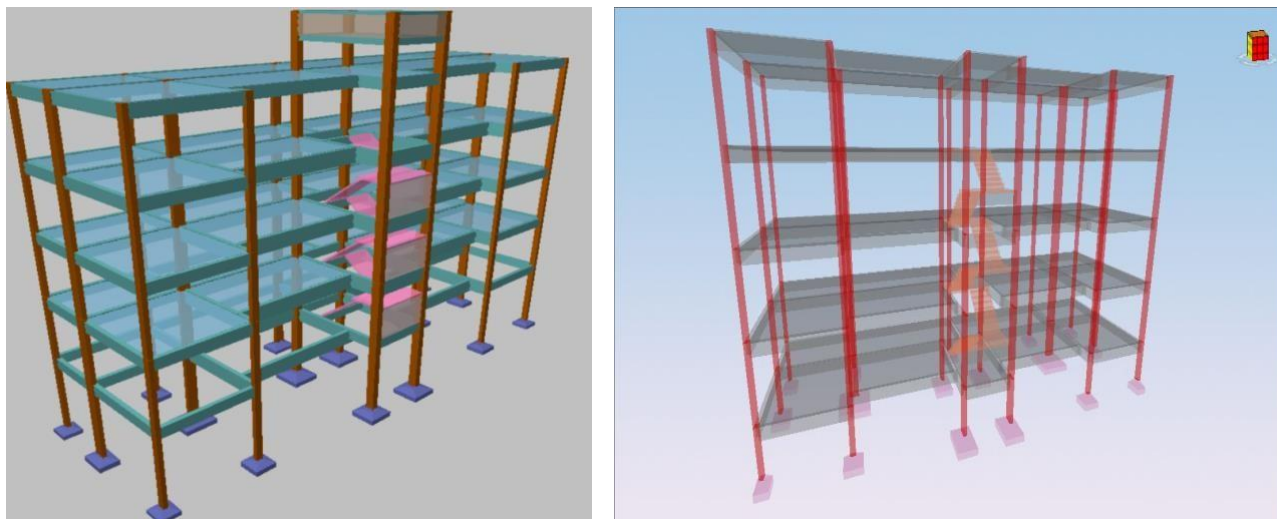


Figura 10. Estrutura em 3D lançada no Cypecad (esquerda) e no TQS (direita) (Autor)

2.2.1 Elementos da fundação

A fundação foi mensurada considerando um terreno baseado em areia siltosa, muito compacta e com pedregulhos de quartzito, possibilitando um lançamento em sapatas de concreto armado sobre o terreno firme as cotas indicadas e seguindo as medidas indicadas na arquitetura inicial.

1.4 Metodologias (Cypecad e TQS)

Como já mencionado, as análises vão acontecer com base nos resultados provenientes nos softwares analisados, que por meio dos resultados da estabilidade e fatores de segunda ordem, irão servir de base comparativa para concluirmos os modos de operação e processamento dos dados lançados nos respectivos programas. Irá haver a mesclagem dos

2.3.1 Aplicação do Cypecad

Inicialmente, nos baseamos da arquitetura para mensurar o tamanho dos elementos estruturais e, a partir do tamanho pré-determinado, ativamos a geometria no programa. Posteriormente, em um arquivo separado, geramos a mesma estrutura, introduzimos as lajes, então o que fizemos foi introduzir cargas lineares diretamente na viga e posteriormente lançando nas lajes, levando em consideração as cargas que serão carregadas sobre as mesmas.

1.4.1.1 Etapas de realização dos lançamentos

Os lançamentos da estrutura pelo Cypecad aconteci em diversas etapas, seguindo orientações de arquitetura e adaptando-se aos elementos que foram definidos para suportar as solicitações de projeto e de uso pelos moradores. As seguintes imagens seguiram o passo a passo de lançamento e obtenção dos resultados.

1. Primeiramente o projeto foi definido os detalhes estruturais de altura e nomes dos pavimentos, nesta ferramenta é possível lançar a maior parte da estrutura dos pilares, facilitando o processo de lançamento

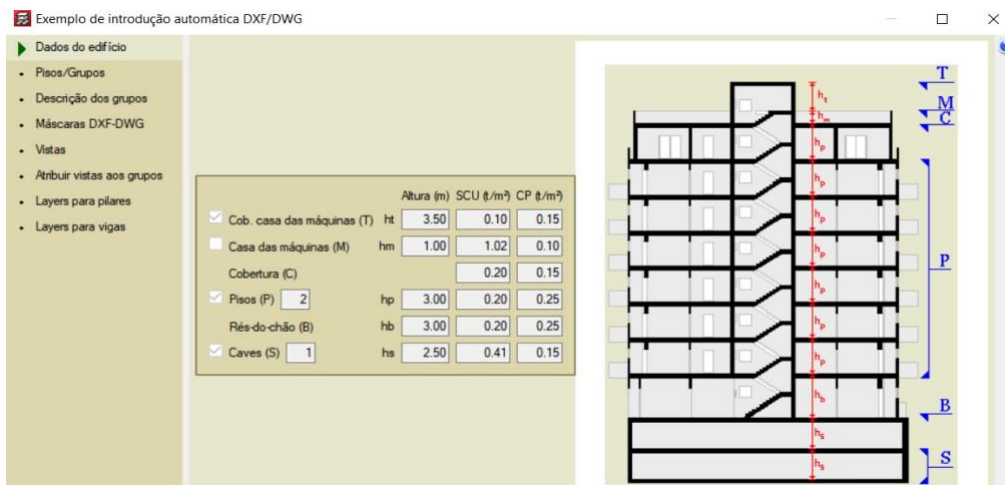


Figura 11. Definição dos detalhes de lançamento (exemplo) (autor)

Nessa parte, a planta vertical do piso estrutural é definida como subsolo, térreo, mezanino, piso padrão, cobertura, piso de equipamentos e laje de cobertura, que possuem altura própria e podem ser ativados ou desativados conforme as necessidades do projeto da edificação. Também nesta disposição, as cargas permanentes e acidentais em cada andar devem ser definidas.

2. Informações de dados gerais

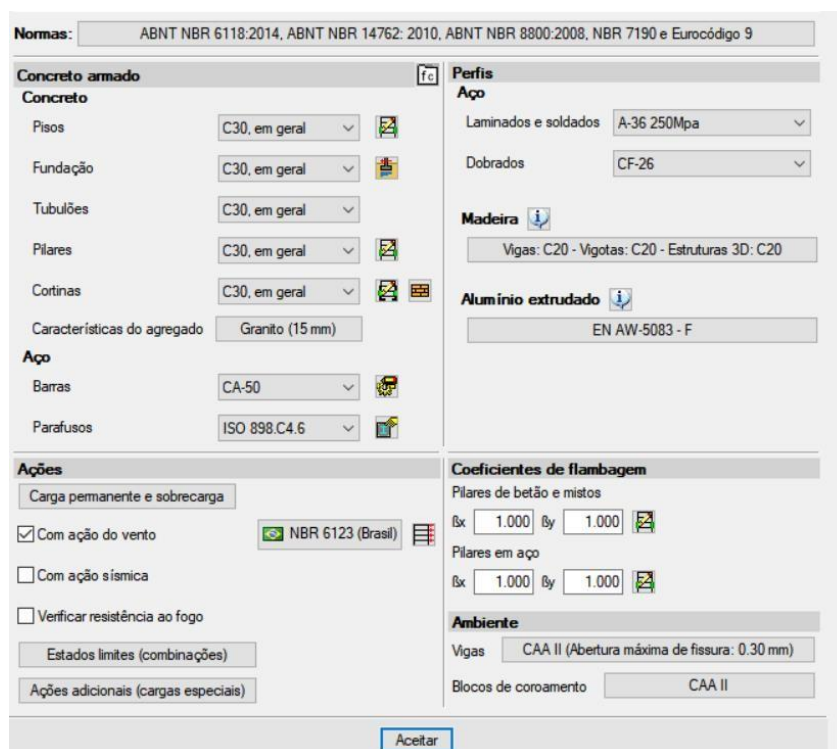


Figura 12. Menu de dados gerais (autor)

Nesta parte é definido as características dos elementos constituintes da estrutura, definindo o tipo de concreto e aço para cada seguimento do projeto (informações utilizadas na presente obra na imagem acima).

Foi escolhido a norma brasileira NBR-6118: 2014 (é possível usar normas anteriores), em que cada uma dessas normas pode ser utilizada para o cálculo da estrutura (vide Fig.13). Esta janela define as propriedades do concreto e do aço, como resistência, módulo de elasticidade e peso próprio. O vento existente na edificação pode ser considerado conforme a NBR 6123/88, onde a velocidade do vento pode ser consultada diretamente a partir do

contorno (vide fig. 14), o que gera automaticamente todas as combinações com coeficientes de aumento e diminuição, podendo criar hipóteses de cobrança quando necessário. Neste procedimento as dimensões de largura de faixa (x e y) foram utilizadas medidas de projeto e os fatores estatísticos foram aqueles indicados no tópico 1.2, constando com um fator multiplicador de deslocamento de segunda ordem de 1.43.

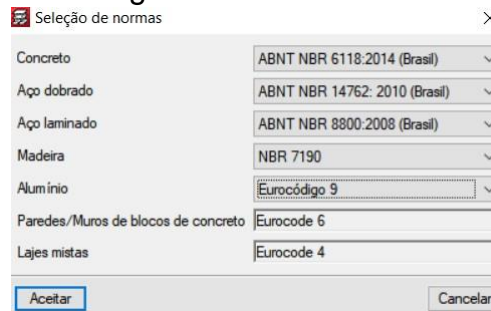


Figura 13. Normas utilizadas pelo Cypecad (Autor)

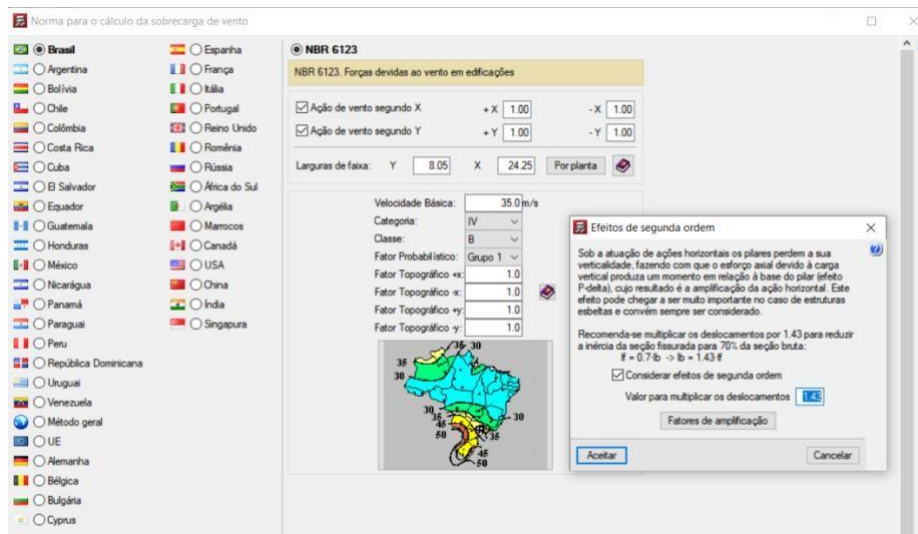


Figura 14. Painel para lançamento da sobrecarga de vento (Autor)

3. Do cálculo da estrutura

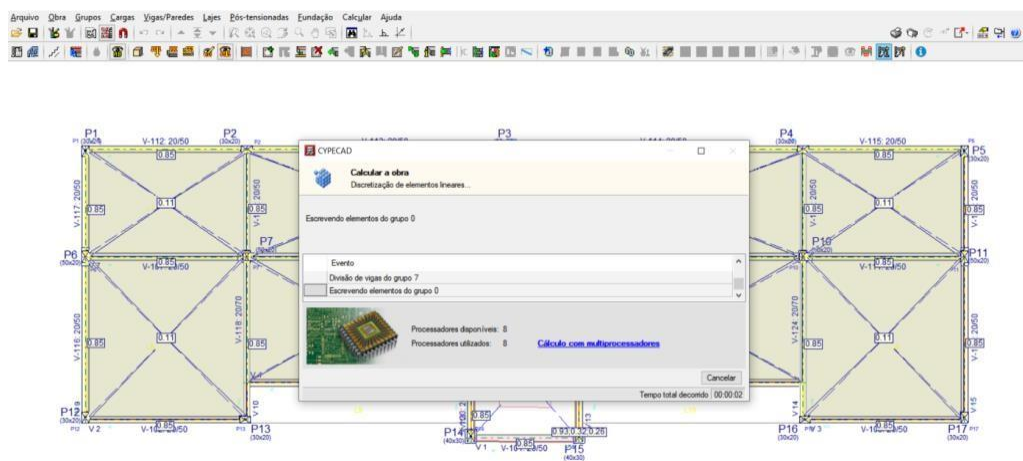


Figura 15. Imagem do lançamento da caixa d'água no Cypecad (Autor)

Depois que os parâmetros e lançamentos feitos, como tamanho da estrutura, carga, resistência do concreto, etc., a estrutura pode ser calculada e mostrar os erros encontrados com base nas normas de cálculo programadas.

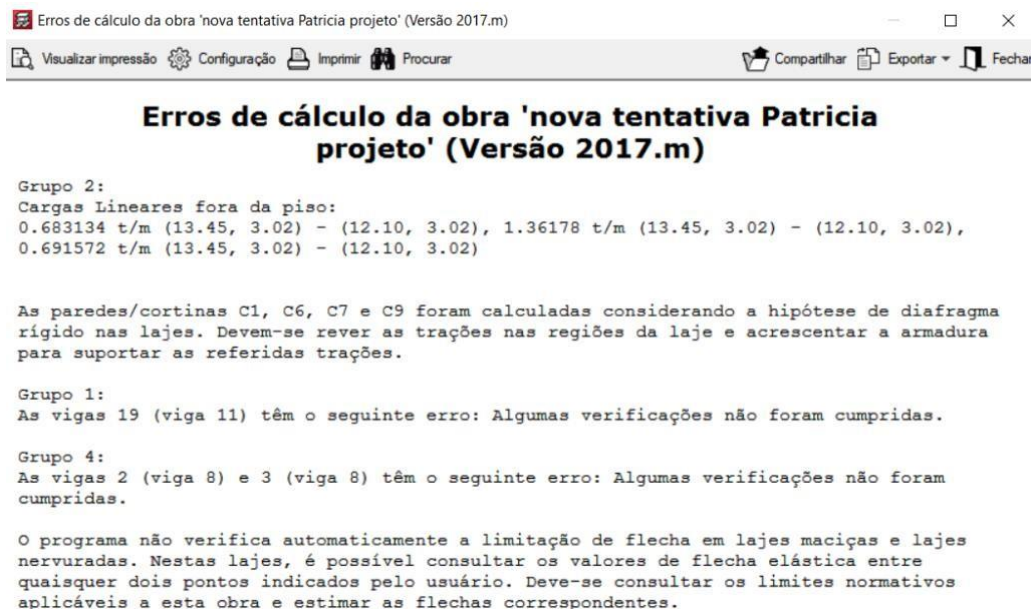


Figura 16. Relatório de erros feito pelo programa após conclusão dos cálculos (Autor)

1.4.2 Aplicação do TQS

O lançamento da estrutura neste software é semelhante ao que é feito no Cypecad. O TQS, assim como o Cypecad, também possui um ambiente de CAD que facilita o modelamento dos elementos estruturais, onde podem ser lançados sobre a máscara base de extensão de arquivo DWG ou DXF. Para este estudo, configurou-se o TQ, com concreto C30 para todos os elementos estruturais. Os coeficientes de ponderação no ELU adotados estão de acordo com a NBR 6118:2014, concreto com coeficiente desfavorável de 1,4 e aço CA 50 e CA 60 com coeficiente desfavorável de 1,15.

1.4.2.1 Etapas de realização dos lançamentos

De maneira geral, as etapas para lançamento da estrutura no software TQS, são as seguintes:

1. Descrição do número de pavimentos, tal como, cotas, número de pisos e pé direito;

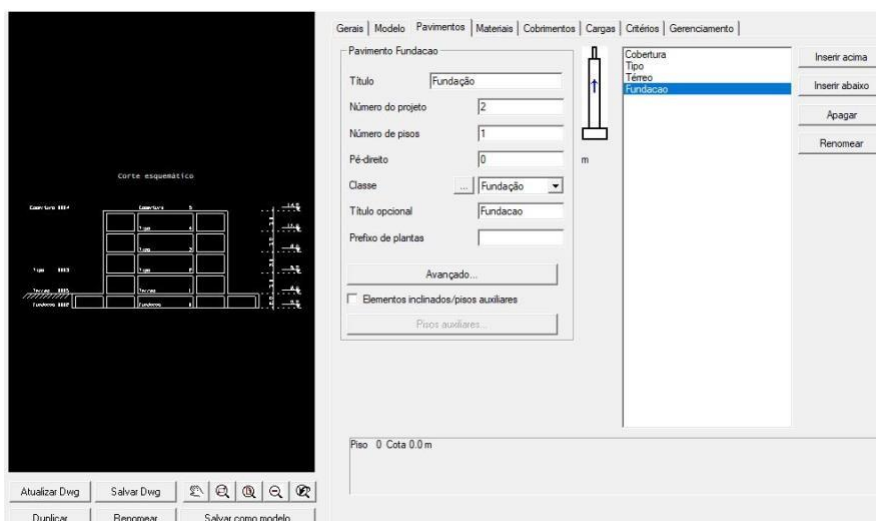


Figura 17. Janela para criação de pavimentos (Autor)

2. Pré-configuração das propriedades dos materiais, como fck, cobrimentos, classe de agressividade;

Figura 18. Propriedade dos materiais (Autor)

3. Definição dos fatores probabilísticos provenientes da ação do vento;

Figura 19. Ações do vento (Autor)

4. Definição do posicionamento e lançamento dos elementos estruturais, e introdução das cargas lineares (cargas acidentais e permanentes) no modelador estrutural do programa;

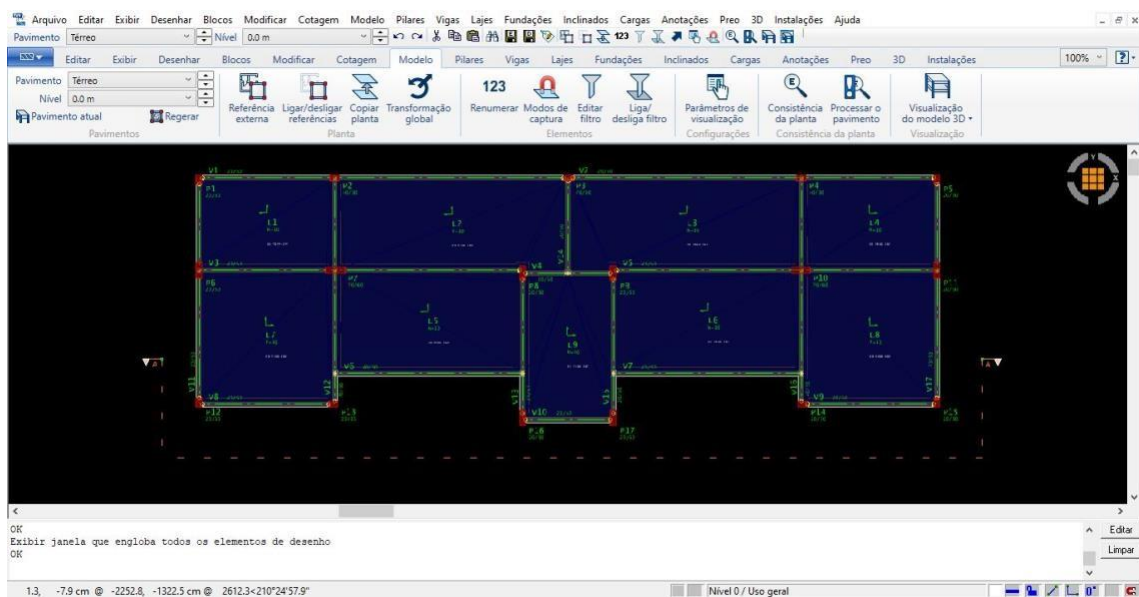


Figura 20. Etapa de lançamento da estrutura no modelador estrutural (Autor)

5. Consistência de planta para verificar possíveis erros de linearidades geométricas (alinhamento de vigas e prumada de pilares) e visualização do pórtico espacial da estrutura;

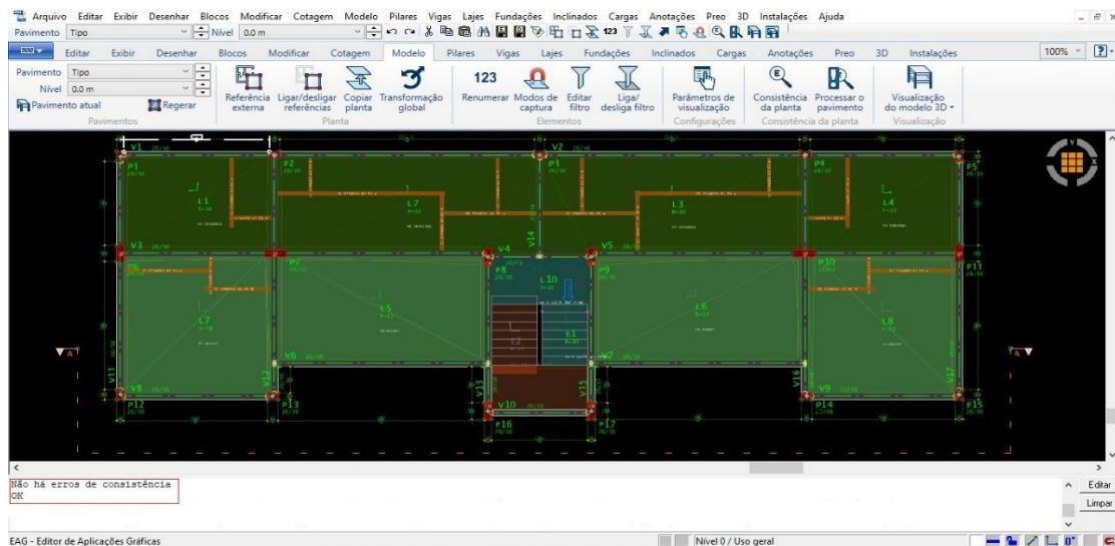


Figura 21. Verificação de erros de linearidade geométrica (Autor)

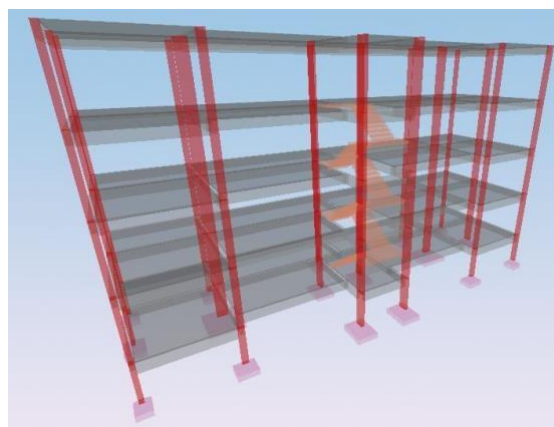


Figura 22. Visualização do pórtico espacial da estrutura (Autor)

6. Processamento global, dimensionamento e detalhamento da estrutura;

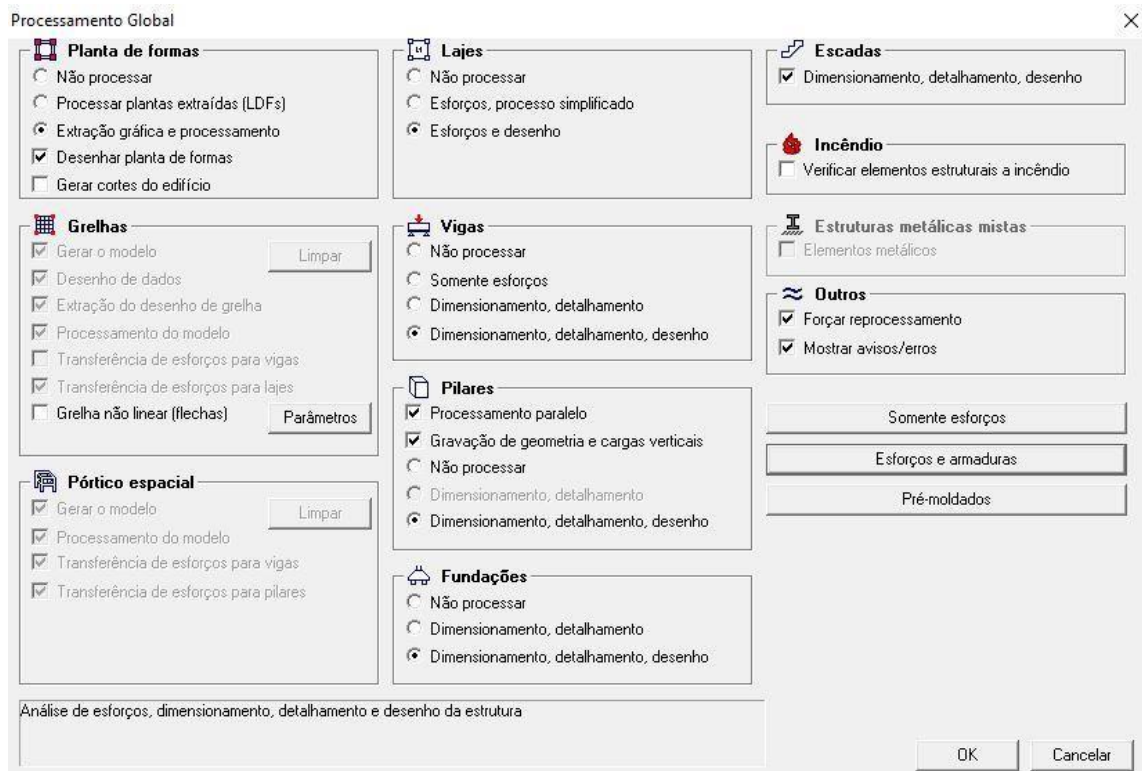


Figura 23. Processamento de esforços da estrutura (Autor)

Avisos e erros - Edifício Edifício

Quantitativo

Classificação	Quantidade
Aviso/Leve	35
Aviso/Médio	0
Erro/Grave	0

Para maiores detalhes, entre no visualizador de erros.

Lista de erros graves
Não existem erros graves.

[Clique aqui](#) para abrir visualizador de erros

Figura 24. Janela de avisos e erros exibida após processamento global (Autor)

7. Verificação do relatório de estabilidade global da estrutura fornecido pelo programa.

Estabilidade global / Deslocamentos laterais

17/08/21 17:01:37
Edifício

Projeto: Edifício
USO NÃO PERMITIDO EM PROJETOS COMERCIAIS

1 - Informações de cálculo	▼
2 - ELU - Estabilidade Global	▼
3 - ELS - Deslocamentos laterais	▼

Figura 25. Relatório de Estabilidade (Autor)

1.5 Demonstrativo dos resultados de estabilidade

1.5.1 Análise do TQS

Após o processamento da estrutura, o programa emite os relatórios com os dados gerais da estrutura, tais como, coeficiente γ_z , parâmetro de estabilidade α , deslocamentos horizontais, etc. Embora o sistema permita controlar a transferência ou não de esforços e o uso ou não dos parâmetros de estabilidade para majorar os esforços horizontais, o programa recomenda que os esforços solicitantes com vento sejam sempre transferidos para dimensionamento e detalhamento, majorados se necessário conforme o cálculo dos parâmetros de estabilidade. O carregamento vertical usado para cálculo de momentos de segunda ordem é composto de todas as cargas verticais permanentes e acidentais, possivelmente com redução de sobrecargas. Isto vale tanto para o caso simples quanto para os casos das combinações de ações. Nas combinações são considerados os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, mas somente de maneira desfavorável.

1 - Informações de cálculo	
Caso de carga vertical	1
Caso vertical tem carga acidental reduzida	Não
Majorador de cargas verticais γ_r / γ_{r2}	1.27
Majorador de cargas horizontais γ_r / γ_{r2}	1.27
Coeficiente de não linearidade física	1.00
Módulo de elasticidade -CONCR	2952000 MPa
Tipo de módulo de elasticidade usado	Secante+10%
Correção no γ_r para transferência de esforços	0.95
Norma para cálculo de imperfeições globais	NBR-6118:2014
1/Ângulo mínimo p/desaprumo preponderante	300.00
Número de prumadas p/cálculo de Teta1	1
Considerar deslocamento horiz das cargas verticais	Sim
Fator de redução dos desloc horiz por peso próprio	0.50
Fator de redução dos desloc horiz por carga perm	0.75
Coeficiente p/classificar estrutura deslocável	FAVT
Valor de referência de estrutura deslocável	1.10
Valor de referência de α	0.60
Número mínimo de pisos no edifício p/aplicar γ_z	4
Cota final	14.0 m
Cota inicial	0.0 m

Figura 26. Dados globais após processamento (Autor)

^ Casos de carregamento horizontal

Caso	Prefixo	Título
5	VENT1	Vento (1) 90°
6	VENT2	Vento (2) 270°
7	VENT3	Vento (3) 0°
8	VENT4	Vento (4) 180°

Figura 27. Descrição dos casos (Autor)

De acordo com os resultados dos parâmetros de estabilidade Gama-z (γ_z) e alfa (α) ilustrados na Tabela 1, pode-se concluir que a estrutura pode ser classificada como sendo de nós fixos. Segundo a NBR 6118:2014 uma estrutura é classificada como nós fixos quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos, e, por decorrência, os esforços globais de segunda ordem são desprezíveis (inferiores a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem). O parâmetro α assim como o coeficiente γ_z também é utilizado na avaliação da sensibilidade da estrutura aos efeitos de segunda ordem, porém tem sua limitação de uso apenas em estruturas simétricas.

Tabela 1. Resultados dos parâmetros de estabilidade global (Autor)

Parâmetro de estabilidade (γ_z) para os carregamentos simples de vento								
Caso	Ang	Ctot (tf)	M2 (tfm)	Chor (tf)	M1 (tfm)	Mig (tfm)	γ_z	α
5	90°	836.78	3.89	13.01	111.46	17.67	1.05	0.46
6	270°	836.78	3.89	13.01	111.46	17.67	1.05	0.46
7	0°	836.78	2.77	8.53	73.1	17.67	1.05	0.476
8	180°	836.78	2.77	8.53	73.1	17.67	1.05	0.476

Legenda
Caso - Caso simples de vento
Ang - Ângulo de vento .
CTot - Somatória de cargas verticais - característico.
M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais - característico.
Chor - Cargas horizontais - característico.
M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais - característico.
Mig - Momento de desaprumo por imperfeições globais - característico.
γ_z - Coeficiente de avaliação da importância dos esforços de 2a ordem globais para estruturas reticuladas com pelo menos 4 andares. $(1/(1-M2/M1*\gamma_f/\gamma_f3))$.

1.5.2 Análise de Cypecad

O Cypecad emite um relatório da estabilidade estrutural baseado nos deslocamentos reais da estrutura, que são aqueles considerados no cálculo e fator multiplicador citado no item 2.3.1.1 (2 Informações de dados gerais), também é gerado relatório das cargas de vento resultantes dos fatores considerados em análise (tabela 3). E hipóteses de ações de vento incidindo sobre a estrutura, sendo essas as seguintes (tabela 2):

- 3 hipóteses de ação vertical
- 4 hipóteses de ação horizontal
- O momento de reviramento produzido pelas ações horizontais nas diferentes hipóteses é:

Tabela 2. Ações horizontais (Autor)

direções	t.m
Vento +X	78,886
Vento -X	78,886
Vento +Y	237,583
Vento -Y	237,583

Tabela 3. Cargas de vento feito pelo Cypecad (Autor)

Planta	Vento X (t)	Vento Y (t)
Piso 7 (C.D'água)	0,280	0,842
Piso 6 (C.D'água)	0,687	2,069
terceiro tipo	1,214	3,659
segundo tipo	1,515	4,564
primeiro tipo	1,369	4,124
térreo	1,151	3,468
pilares de fundação	0,000	0,000

Para outros fatores de cálculo de ação horizontal, o software considera a amplificação da força gerada por tal ação de carga horizontal. Este método é baseado no efeito P-delta causado pelo deslocamento provocado pela ação horizontal, de forma simples para resolver o efeito de segunda ordem no cálculo de primeira ordem e no comportamento linear do material, e utiliza o cruzamento material seccional e seu material para calcular o módulo de elasticidade secante das propriedades mecânicas.

O momento do efeito P-delta gerado por diferentes pressupostos de carga vertical é:

Tabela 4. Resultado da análise do efeito P-delta

	Peso próprio t-m	Cargas permanentes t-m	Sobrecarga t-m
Vento +X	0,926	1,114	0,218
Vento -X	0,926	1,114	0,218
Vento +Y	2,689	3,225	0,631
Vento -Y	2,689	3,225	0,631

As ações horizontais são incrementadas pela atuação simultânea das ações verticais segundo os seguintes fatores de amplificação (FA):

Tabela 5. Fatores de amplificação da ação do vento

	Peso próprio	Cargas permanentes	Sobrecarga
Vento +X	0,012	0,014	0,003
Vento -X	0,012	0,014	0,003
Vento +Y	0,011	0,014	0,003
Vento -Y	0,011	0,014	0,003

1.6 Analise comparativa do Gamma-z

Nota-se que diferentemente do parâmetro α , o coeficiente γ_z serve como majorador dos esforços horizontais realizando a estimativa dos esforços de segunda ordem. Considera-se que a estrutura é de nós fixos se for obedecida a condição $\gamma_z \leq 1,1$.

Gama-z (γz)

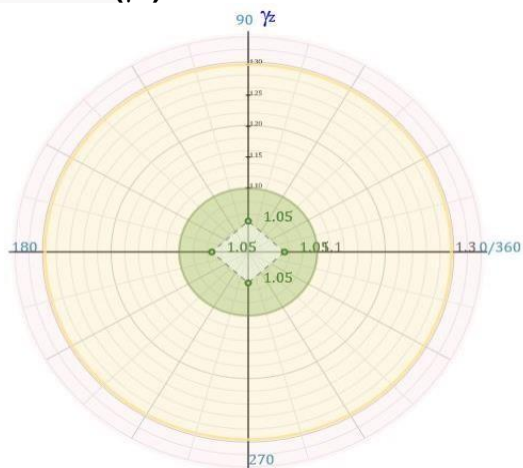


Figura 28. Gráfico do coeficiente γ_z (TQS)

Parâmetro alfa (α)

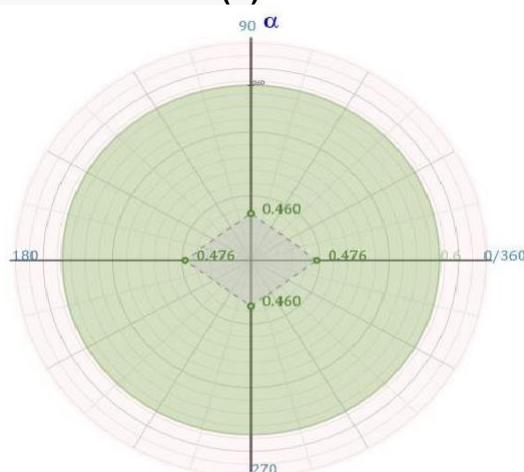


Figura 29. Gráfico do parâmetro α (TQS)

Tabela 6. Resultado da estabilidade global do Cypecad para as diferentes hipóteses de ação horizontal

Vento +X	1,042
Vento -X	1,042
Vento +Y	1,040
Vento -Y	1,040

Após análise dos resultados obtidos pelos programas, verifica-se na tabela 7 que os resultados a partir do parâmetro de estabilidade γ_z estão bem próximos. Percebe-se que pela proximidade dos resultados obtidos, somente reforça que a estrutura foi lançada igualmente nos dois softwares, visando à mínima diferença possível.

Estabilidade global da estrutura		
Direção do vento	Parâmetro Gama-z (γ_z)	
	Cypecad	TQS
0°	1,042	1,05
180°	1,042	1,05
90°	1,040	1,05
270°	1,040	1,05

Tabela 7. Resultados do χ^2 pelos dois programas (Autor)

2. Resultado e conclusões

Através do modelo estrutural apresentado, constata-se que os softwares apresentaram resultados muito próximos pela a avaliação dos efeitos de segunda ordem, logo nota-se a similaridade no dimensionamento da estrutura quando a mesma é lançada de forma igual no Cypecad e no TQS. Para os dois métodos de cálculo utilizados neste trabalho, nas duas direções os parâmetros de estabilidade (coeficiente γ_z e parâmetro α) ficaram abaixo dos limites, $\gamma_z < 1,1$ e $\alpha < 0,6$. Por fim, finaliza-se que a realização da análise comparativa entre softwares existentes no mercado é fundamental para a determinação do critério de uso dos mesmos. Os programas de análise estrutural facilitam o estudo do usuário, porém não fazem a análise propriamente dita da estrutura. Esta deve ser de responsabilidade do engenheiro, que, de preferência, deve apresentar um bom conhecimento e embasamento teórico aliado aos métodos executivos, atenuando o possível surgimento de cargas acidentais ou deslocamentos não previstos em cálculo.

3. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **6118:2014**. Projeto de estruturas de concreto;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **6123:1988**. Forças devidas ao vento em edificações;

SORIANO, Humberto Lima.; LIMA, Silvio de Souza. **Análise de estruturas, método das forças e método dos deslocamentos - Volume 1**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2004;