

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS GOMES FRANCO

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Jataí - Goiás
2023

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico/Tecnológico - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Matheus Gomes Franco

Matrícula: 20192020260013

Título do Trabalho: AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Autorização - Marque uma das opções

1. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

() O documento está sujeito a registro de patente.

() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.

(_____) Outra justificativa:

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

_____Jataí_____, _18/12/2023_.

Local

Data

MATHEUS GOMES
FRANCO

Assinado de forma digital por
MATHEUS GOMES FRANCO
Dados: 2023.12.18 21:20:28 -03'00'

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

MATHEUS GOMES FRANCO

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Profa. Dra. Mônica Maria Emerenciano Bueno

Jataí - Goiás
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Franco, Matheus Gomes.

Avaliação dos parâmetros de instabilidade global em estruturas de concreto armado [manuscrito] / Matheus Gomes Franco. - Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, 2023.

91 f.; il.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica Maria Emerenciano Bueno.

Bibliografias.

1. Estabilidade global. 2. Parâmetros de instabilidade global. 3. Coeficiente γ_z . 4. Efeitos de segunda ordem. 5. Nós móveis. 6. Parâmetro FAVt. I. Bueno, Mônica Maria Emerenciano. II. IFG, Câmpus Jataí. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.

Bibliotecária – Rosy Cristina O. Barbosa – CRB 1/2380 – C. Jataí. Cód. F060/2023-2.

Folha de Aprovação

MATHEUS GOMES FRANCO

AValiação dos Parâmetros de Instabilidade Global em Estruturas de Concreto Armado

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 29 de novembro de 2023, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Mônica Maria Emerenciano Bueno
Presidente da banca / Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Fabrício Ribeiro Bueno
Membro Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Winston Junior Zumaeta Moncayo
Membro Externo
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Jataí - GO
2023

Documento assinado eletronicamente por:

- Winston Junior Zumaeta Moncayo, Winston Junior Zumaeta Moncayo - Outros - Universidade Federal do Amazonas - Ufam (04378626000197), em 16/12/2023 19:14:29.
- Fabricio Ribeiro Bueno, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 16/12/2023 17:55:46.
- Monica Maria Emerenciano Bueno, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/12/2023 13:25:38.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 17/11/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 476943

Código de Autenticação: 9cfa4d6fd



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Av. Presidente Juscelino Kubitschek, nº 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3514-9580 (ramal: 9580)

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho, aos meus queridos pais,
Maria Aparecida Franco e Lourenço Gomes,
à minha querida e digníssima esposa,
Gabriela Souza de Andrade,
e à minha amorosa filha,
Rebeca Gomes Souza.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pelas bênçãos derramadas sobre a minha vida e da minha família que me permitiram chegar até aqui com saúde e força, cuidando sempre de mim e me fortalecendo em todos os momentos, me guiando, me direcionando, me iluminando, me capacitando nessa jornada tão difícil e sempre me enchendo de esperanças sabendo que ele é o meu guarda fiel. Muito obrigado meu Senhor.

Agradeço à minha querida mãe Maria Aparecida Franco, que sempre intercedeu e orou para que eu pudesse chegar até aqui e eu tenho total certeza de que sem as orações dela eu não teria chegado. Muito obrigado mãe por ser essa mulher tão guerreira, batalhadora, amorosa que sempre acreditou em mim e que eu seria capaz de ir longe.

Ao meu pai, Lourenço Gomes, que foi uma das minhas maiores inspirações a cursar a engenharia civil, onde desde pequeno me levou para as obras, me ensinou muito do que sei de construções, e foi o responsável por me inserir nesse mundo da construção civil onde pude vivenciar e aprender a amar essa carreira.

Agradeço em especial à minha digníssima esposa Gabriela Souza que foi sem dúvidas o meu maior amparo e esteio durante o meu período de graduação, dando todo o suporte e apoio necessário para que eu pudesse chegar até aqui. Muito obrigado amor, sem você eu também não estaria aqui. E também à nossa filha Rebeca Gomes Souza, que foi a minha maior motivação para terminar a minha graduação.

À minha orientadora Professora Doutora Mônica Maria Emerenciano Bueno, que me proporcionou a oportunidade de elaborar este trabalho, oferecendo total apoio, paciência, dedicação e compreensão, para chegar nesse resultado final. Aos demais professores componentes do corpo docente do curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás essenciais para a minha construção como profissional.

A todos os familiares e amigos por torcerem por mim participando dessa etapa de forma direta ou indiretamente.

Meus agradecimentos à equipe do software TQS, por contribuir de forma significativa, disponibilizando um programa que possibilitou inúmeras análises e enriquecendo este estudo tão importante.

RESUMO

FRANCO, M. G. (2023). **Avaliação dos parâmetros de instabilidade global de estruturas de concreto armado**. 95p. Trabalho de conclusão de curso Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Jataí, 2023.

Os atuais projetos arquitetônicos vêm mostrando uma tendência por estruturas cada vez mais altas e mais esbeltas, com uma menor quantidade de elementos estruturais como pilares, e isso contribui para tornar a estrutura menos rígida, impactando em preocupações relacionadas à estabilidade. Este trabalho mostra sua importância no estudo da estabilidade global de edificações em concreto armado onde os padrões da sociedade moderna apontam para edificações mais verticalizadas a fim de obterem uma taxa de aproveitamento maior do solo, principalmente com o aumento da população urbana mundial. A NBR 6118 (ABNT, 2023) dispõe de ferramentas que auxiliam o projetista na verificação da estabilidade de uma edificação, sendo eles, o parâmetro de instabilidade global α (alfa) e o coeficiente γ_z (gammaz), que são responsáveis por avaliar e classificar as estruturas em nós móveis ou fixos, indicando a necessidade ou não de utilizar os efeitos de segunda ordem. Existe ainda o coeficiente FAVt (Fator de amplificação de esforços horizontais ou de vento) que é um parâmetro utilizado pelo sistema CAD/TQS. O presente trabalho apresenta o estudo de edificações de diferentes tipologias onde avalia os parâmetros α , γ_z e FAVt diante de modificações no modelo estrutural que podem impactar na estabilidade global, tais como: a variação do número de pavimentos, a direção dos pilares centrais e assimetria em planta, classificando as estruturas em nós móveis ou nós fixos e verificando a possibilidade de uso do processo aproximado do parâmetro γ_z no dimensionamento da estrutura. Os resultados obtidos a partir dos parâmetros α , γ_z e FAVt, permitirá classificar a estrutura em nós fixos ou nós móveis, buscando tornar a estrutura mais rígida e favorável a estabilidade global. A conclusão chegada durante este trabalho foi a de que os parâmetros γ_z e FAVt trabalham de forma semelhante para estruturas simétricas; já para estruturas assimétricas, o valor de FAVt tende a ser mais elevado. Os parâmetros α e γ_z concordam na classificação da estrutura, para o estudo, em nós fixos ou nós móveis.

Palavras-chave: Estabilidade global. Parâmetros de instabilidade global. Coeficiente γ_z . Efeitos de segunda ordem. Nós móveis. Parâmetro FAVt.

ABSTRACT

FRANCO, M. G. (2023). **Evaluation of the global instability parameters of reinforced concrete structures**. 95p. Final Paper Bachelor of Civil Engineering, Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás. Jataí, 2023.

The current architectural projects are showing a trend towards increasingly tall and slender structures, with a reduced number of structural elements such as columns. This contributes to make the structure less rigid, impacting concerns related to stability. This work emphasizes its importance in the study of the global stability of reinforced concrete buildings, where modern society's standards lean towards more vertically oriented structures to achieve a higher land utilization rate, especially with the increase in the world's urban population. The NBR 6118 (ABNT, 2023) provides tools that assist the designer in checking the stability of a building. These tools include the global instability parameter α (alpha) and the coefficient γ_z (gamma-z), responsible for evaluating and classifying structures as either movable or fixed nodes, indicating the need or not to consider second-order effects. There is also the FAVt coefficient (horizontal or wind stress amplification factor) which is a parameter used by the CAD/TQS system. This study presents an analysis of buildings of different typologies, evaluating the parameters α , γ_z , and FAVt in the face of modifications in the structural model that can impact global stability, such as variations in the number of floors, the orientation of central pillars, and plan asymmetry. It classifies the structures as movable or fixed nodes, checking the possibility of using the approximate process of the γ_z parameter in structural design. The results obtained from the α , γ_z , and FAVt parameters will allow the classification of the structure as either fixed or movable nodes, aiming to make the structure more rigid and conducive to global stability. The conclusion drawn during this work is that the γ_z and FAVt parameters work similarly for symmetric structures, while for asymmetric structures, the FAVt value tends to be higher. The α and γ_z parameters agree on the classification of the structure as fixed or movable nodes in the study.

Keywords: Global stability. Global instability parameters. γ_z coefficient. Second-order effects. Mobile nodes. FAVt parameter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação dos tipos de equilíbrio	25
Figura 2.2- Representação ELU	27
Figura 2.3- Representação ELS	28
Figura 2.4– Efeitos de 1ª ordem	28
Figura 2.5– Deslocamento horizontal da estrutura	30
Figura 2.6– Deslocamento “d”	30
Figura 2.7– Deslocamento “2d”	31
Figura 2.8– Análise linear	31
Figura 2.9– Análise não-linear	32
Figura 2.10– Diagramas tensão x deformação de cálculo do aço	33
Figura 2.11– Diagramas tensão x deformação de cálculo do aço	33
Figura 2.12– Efeitos de 2ª ordem	35
Figura 2.13– Tipo de efeitos de 2ª ordem.....	35
Figura 2.14– Tipo de e feitos de 2ª ordem globais	36
Figura 2.15– Efeitos de 2ª ordem locais	36
Figura 2.16– Tipo de efeitos de 2ª ordem localizados.....	37
Figura 2.17 – Valores de alfa para estrutura de nós fixos ou nós móveis	39
Figura 2.18– Valores de gammaz para estrutura de nós fixos ou nós móveis.....	40
Figura 2.19– Estrutura não simétrica.....	41
Figura 2.20 - Deslocamento horizontal devido ao carregamento vertical.....	41
Figura 2.21– Vento no sentido do deslocamento horizontal devido à carga vertical.....	42
Figura 2.22 – Vento no sentido oposto do deslocamento horizontal devido à carga vertical ..	43
Figura 2.23– Imperfeições geométricas globais	44
Figura 3.1 - Corte esquemático (sem escala, dimensões em metros)	48

Figura 3.2 – Esquema de simetria (dimensões em centímetros, sem escala	48
Figura 3.3 - Planta de forma - Pavimento tipo (dimensões em centímetros, sem escala)	49
Figura 3.4 - Nomenclatura dos exemplos do estudo de caso com estrutura original	55
Figura 3.5 - Nomenclatura dos exemplos do estudo de caso com estrutura em balanço	55
Figura 4.1 – Vistas 3D da estrutura	57
Figura 4.2 – Diagrama do parâmetro γ_z (GammaZ)	60
Figura 4.3 – Diagrama do parâmetro FAVt.....	60
Figura 4.4 – Corte esquemático do edifício.....	61
Figura 4.5 – Diagrama do parâmetro γ_z	64
Figura 4.6 – Diagrama do parâmetro FAVt.....	64
Figura 4.7 – Planta de forma com pilares centrais modificados.....	66
Figura 4.8 – Planta de forma do pavimento tipo com laje em balanço	69
Figura 4.9 – Vistas 3D da estrutura	70
Figura 4.10 – Planta de forma do pavimento tipo com laje em balanço e pilares centrais modificados	74
Figura 4.11 – Diagrama do parâmetro γ_z	79
Figura 4.12 – Diagrama do parâmetro FAVt.....	80
Figura 4.13 – Comparação de valores de γ_z - quatro pavimentos.....	81
Figura 4.14 – Comparação de valores de γ_z - cinco pavimentos	82
Figura 4.15 – Comparação de valores de γ_z - cinco pavimentos	83
Figura 4.16 – Comparação de valores de γ_z - dez pavimentos.....	84
Figura 4.17 – Comparação de valores de γ_z - doze pavimentos.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1– Carregamentos verticais	51
Tabela 3.2– Dados utilizados no carregamento de vento	51
Tabela 3.3 – Dados utilizados para consideração de carregamento horizontal gerado por desaprumo global.....	52
Tabela 3.4 - Resumo de combinações no modelo global	52
Tabela 3.5 - Combinações geradas pelo CAD/TQS - Lista de combinações.....	53
Tabela 3.6 – Resumo dos exemplos estudados	55
Tabela 4.1 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° – EDIF.1 – 4 PAV ORIG...	58
Tabela 4.2 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 270° – EDIF.1 – 4 PAV ORIG.	58
Tabela 4.3 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0° – EDIF.1 – 4 PAV ORIG.....	59
Tabela 4.4 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 180° – EDIF.1 – 4 PAV ORIG.	59
Tabela 4.5 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.1 – 5 PAV ORIG	62
Tabela 4.6 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.1 – 6 PAV ORIG	62
Tabela 4.7 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.1 – 7 PAV ORIG	63
Tabela 4.8 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.1 – 8 PAV ORIG	63
Tabela 4.9 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.1 – 9 PAV ORIG	65
Tabela 4.10 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 9 PAV MOD	66

Tabela 4.11 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 10 PAV	
MOD.....	67
Tabela 4.12 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 11 PAV	
MOD.....	67
Tabela 4.13 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 12 PAV	
MOD.....	67
Tabela 4.14 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 13 PAV	
MOD.....	68
Tabela 4.15 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 14 PAV	
MOD.....	68
Tabela 4.16 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 15 PAV	
MOD.....	69
Tabela 4.17 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.3 – 4	
PAV ORIG - B	71
Tabela 4.18 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.3 – 6	
PAV ORIG – B.....	71
Tabela 4.19 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.3 – 6	
PAV ORIG – B.....	72
Tabela 4.20 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 6	
PAV MOD - B.....	74
Tabela 4.21 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 7	
PAV MOD - B.....	75
Tabela 4.22 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 8	
PAV MOD - B.....	76

Tabela 4.23 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 9	
PAV MOD – B	76
Tabela 4.24 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 10	
PAV MOD – B	77
Tabela 4.25 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 11	
PAV MOD – B	77
Tabela 4.26 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 12	
PAV MOD – B	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ELS Estados Limites de Serviço

ELU Estados Limites Últimos

NBR Norma Brasileira

NLF Não linearidade física

NLG Não linearidade geométrica

ACIDCOMB Combinação de carregamento acidental

PP Peso próprio da estrutura

PERM Carregamento permanente

ACID Carregamento Acidental

LISTA DE SÍMBOLOS

F_{qk}	Representa as ações variáveis diretas das quais F_{gk} é escolhida principal;
F_{gk}	Representa as ações permanentes diretas;
$\gamma_g \gamma_q$	São os coeficientes de ponderação das ações;
θ_{1min}	Desaprumo de um elemento vertical contínuo mínimo
A_s	Área de aço, armadura positiva
A_s''	Área de aço armadura negativa
E_{ci}	Módulo de elasticidade inicial do concreto
E_{csIc}	Somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada
F	Valor de cálculo das ações para combinação última;
f_{ck}	Resistência característica do concreto a compressão
H_{tot}	Altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;
$M_{1,tot,d}$	Soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura
N_k	Somatório de todas as cargas verticais [kN] atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H_{tot}), com seu valor característico;
$P-\Delta$	Efeitos globais da NLG/ Método para obter os momentos finais de 2º ordem
α	Parâmetro de instabilidade alfa;
γ_z	Coeficiente gamma-z de avaliação da instabilidade e majoração dos esforços globais finais de 1ª ordem para obtenção dos finais de 2ª ordem;
$\Delta M_{tot,d}$	Soma do produto de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem
ψ_{oj}	Fator de redução de combinação.
FAV_t	Fator de amplificação de esforços horizontais (vento) de 1ª ordem para consideração simplificada de esforços de 2ª ordem. Calcula como γ_z , mas considera o deslocamento horizontal de cargas verticais.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	8
AGRADECIMENTOS	9
RESUMO	10
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	14
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	17
LISTA DE SÍMBOLOS	18
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	22
1.1 JUSTIFICATIVA	23
1.2 OBJETIVOS.....	23
1.2.1 Objetivo Geral	23
1.2.2 Objetivos Específicos	24
CAPÍTULO 2 REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1 ESTABILIDADE DAS EDIFICAÇÕES	25
2.2 ANÁLISE ESTRUTURAL	25
2.2.1 Estados-Limites	26
2.2.1.1 Estados-Limites Últimos (ELU)	26
2.2.1.2 Estados-Limites de Serviço (ELS).....	27
2.2.2 Efeitos de 1ª Ordem.....	28
2.2.3 Efeitos de 2ª Ordem.....	29
2.2.4 Tipos de Análise	30
2.2.4.1 Análise linear	31
2.2.4.2 Análise não-linear	32
2.2.4.3 Não-Linearidade Física (NLF)	33
2.2.4.4 Não-Linearidade Geométrica (NLG).....	34
2.2.5 Tipo de efeitos de 2ª ordem	35
2.2.5.1 Efeitos de 2ª Ordem Globais.....	35
2.2.5.2 Efeitos de 2ª Ordem Locais.....	36
2.2.5.3 Efeitos de 2ª Ordem Localizados.....	36
2.2.6 Estruturas de nós fixos e estruturas de nós móveis	37
2.2.7 Parâmetros de Instabilidade Global.....	37
2.2.7.1 Parâmetro α	38

2.2.7.2 Coeficiente γ_z (GammaZ)	39
2.2.7.3 Coeficiente FAVt	40
2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESTABILIDADE	43
2.3.1 Cargas atuantes	44
2.3.1.1 Ações horizontais	44
2.3.1.2 Ações Verticais	45
2.3.1.3 Rigidez	45
2.3.1.4 Interação solo-estrutura	46
2.3.1.5 Fck	46
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA	47
3.1 Apresentação do edifício analisado	47
3.2 Planta de forma	49
3.3 Combinações de carregamento	49
3.4 Carregamentos	50
3.4.1 Carregamento Vertical	50
3.4.2 Carregamento Horizontal	51
3.4.3 Combinações de carregamento consideradas no software CAD/TQS®	52
3.5 Considerações de rigidez para avaliação da estabilidade global	53
3.6 Dados de cálculo para exemplos	54
3.6.1 Representação dos exemplos	54
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	57
4.1 Exemplo EDIF.1 – 4 PAV ORIG	57
4.1.1 Variação do Número de Pavimentos	61
4.2 Exemplo EDIF.2 – 9 PAV MOD	65
4.3 EXEMPLO EDIF.3 – 4 PAV ORIG - B	69
4.4 EXEMPLO EDIF.4 – 6 PAV mod - B	73
4.5 Comparação de Resultados	81
4.5.1 Edificações de Quatro Pavimentos	81
4.5.2 Edificações de Cinco Pavimentos	81
4.5.3 Edificações de Seis Pavimentos	82
4.5.4 Edificações de Dez Pavimentos	83
4.5.5 Edificações de Doze Pavimentos	84
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS	88

ANEXOS 91

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

Levando em consideração o cenário atual da população mundial, observa-se a alta demanda por mais moradias. Segundo Meyer (2022) a Organização das Nações Unidas (ONU – Habitat) em 2009 a população mundial já se concentrava a maior parte na cidade, cerca de 3,7 bilhões de pessoas, sendo que essa previsão era pra acontecer somente no ano de 2030. No Brasil, essa transição do campo para cidade ocorreu mais rápida ainda; de acordo com a Organização das Nações Unidas em 1970 a população brasileira urbana era pouco mais de 55%, em 2005 já havia passado os 80%, e em 2050 essa população será de 90% (Vasconcelos, 2005).

A fim de responder a essa demanda, têm-se uma grande procura por moradias e o aumento de edifícios verticais cada vez mais altos, com o propósito de comportar um número maior de habitantes, e ocupar uma menor área. Essa busca por edificações mais altas e associado a resistência dos materiais mais altas e arquitetura moderna, entre outros, fez com que as estruturas ficassem mais flexíveis, consequentemente menos rígidas, surgindo assim outros efeitos que devem ser analisados para garantir a segurança e estabilidade global da edificação. Efeitos de segunda ordem estão diretamente ligados à estabilidade global da edificação, esses efeitos surgem em estruturas mais flexíveis, por serem menos rígidas. Alguns elementos contribuem para a estabilidade e melhor rigidez da estrutura como, a geometria da edificação, a quantidade e tipos de pórticos, núcleos rígidos, tamanho e extensão dos vãos.

Para analisar a estabilidade global de edifícios NBR 6118 (ABNT, 2023) utiliza o parâmetro Alfa (α), e o coeficiente GamaZ (γ_z), introduzidos a partir da revisão de 2003. O parâmetro Alfa foi deduzido por Beck e König em 1967 e definido como parâmetro de instabilidade por Mario Franco, segundo Vasconcelos (1998); e o coeficiente GamaZ (γ_z) criado por Franco e Vasconcelos em 1991. Para que uma estrutura tenha uma boa estabilidade global, o projetista deve conhecer esses parâmetros de avaliação, utilizando assim os melhores métodos para uma boa combinação estrutural.

Além desses dois parâmetros γ_z e α , existem outros para essa avaliação que não constam na norma brasileira, mas podem ser adotados nas análises como comparação como, por exemplo, o coeficiente FAVt (Fator de amplificação de esforços horizontais ou de vento) que foi desenvolvido pela empresa CAD/TQS usado em seu programa e também pode ser levado em consideração na avaliação da estabilidade global. Segundo Bueno (2009) esse coeficiente é calculado para cada combinação do ELU definida no edifício com o mesmo equacionamento

do γ_z original, porém ele ainda considera os deslocamentos horizontais provocados por cargas verticais.

A análise de estabilidade global de uma edificação é de suma importância principalmente na fase inicial antes do dimensionamento da estrutura, pois é através dela que poderá se obter o melhor arranjo estrutural, visto que os parâmetros analisados irão certificar da melhor locação dos pilares ou alteração na geometria desses pilares a fim de se alcançar a melhor estabilidade global da edificação. O resultado dessa análise poderá resultar em alguns ajustes no projeto, em função dos parâmetros examinados.

1.1 JUSTIFICATIVA

A análise de segunda ordem de uma estrutura é imprescindível para proporcionar mais segurança, qualidade e estabilidade. É através dessa análise que é possível fazer uma previsão de mais acertada de como a estrutura irá se comportar diante das forças e tensões atuantes. As estruturas têm como função principal a transmissão das cargas verticais, tais como peso próprio, cargas permanentes e sobrecargas de utilização para o solo. No entanto, em edifícios com múltiplos pavimentos, as os deslocamentos horizontais merecem uma atenção especial na análise estrutural (Leão, 2014).

A análise de segunda ordem tem como principal objetivo prever a deslocabilidade lateral da estrutura às ações horizontais, logo estas precisam ser levadas em consideração corretamente, pois elas podem desestabilizar a estrutura, correndo o risco de a mesma atingir um ELU (Estado Limite Último).

Atualmente, com a realidade de projetos que passam dos 800m de altura, a análise de segunda ordem é feita, por computadores que entregam um resultado preciso e seguro, porém, isso não anula o fato de que é preciso o profissional ter o conhecimento necessário para analisar os resultados do sistema computacional e saber intervir para melhorar o comportamento estrutural do seu projeto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar, através de alguns parâmetros de instabilidade, a estabilidade global em estruturas de concreto armado, comparando seus resultados.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar as características e aplicações de alguns parâmetros de instabilidade global utilizados pela NBR 6118:2023;
- Estudar as características e aplicações de parâmetros de instabilidade global não utilizados pela norma brasileira;
- Avaliação do desempenho dos parâmetros estudados em algumas tipologias de edificação através da comparação dos resultados.

CAPÍTULO 2 REVISÃO DA LITERATURA

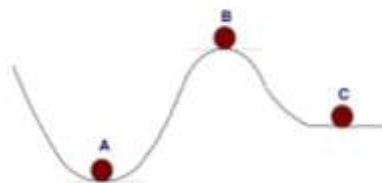
Neste capítulo serão descritos alguns conceitos fundamentais para a compreensão e análise da estabilidade global de estruturas de concreto armado com a utilização de parâmetros para a verificação da estabilidade em alguns modelos diferentes de edificação.

2.1 ESTABILIDADE DAS EDIFICAÇÕES

Segundo o dicionário Aurélio (FERREIRA, 2010), estabilidade é uma qualidade ou característica daquilo que é estável. Diz-se que algo é estável por denotar firmeza e solidez. A estabilidade está diretamente ligada à segurança, seja no sentido emocional, financeiro, econômico e etc. Na área jurídica estabilidade pode significar: “Circunstância em que uma pessoa não corre o risco de ser demitida; situação do funcionário público que, admitido por concurso, só pode ser demitido por ação judicial.”; na área da física: “Propriedade de um corpo em equilíbrio que tende a retomar a sua posição inicial, quando dela for desviado: a estabilidade da balança.”, logo, estabilidade pode obter várias facetas, porém todas com o mesmo significado: segurança. Na análise estrutural existem 3 tipos de equilíbrio, segundo a Figura 2.1: equilíbrio estável (bolina A), equilíbrio instável (bolinha B) e equilíbrio indiferente (bolinha C). Para a construção de edifícios busca-se sempre o equilíbrio estável.

Figura 2.1 - Representação dos tipos de equilíbrio

- Tipos de equilíbrio (Análise Estrutural):
1. Equilíbrio ESTÁVEL
 2. Equilíbrio INSTÁVEL
 3. Equilíbrio INDIFERENTE (NEUTRO)



Fonte: [Internet](#) <Acessado em 08/11/2023>

Quando se trata de edificações a estabilidade pode ser global, local ou localizada segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023).

2.2 ANÁLISE ESTRUTURAL

Será iniciado o estudo dos conceitos de estabilidade global e os fatores que se deve levar em consideração para ser calculada. A verificação da estabilidade global é um requisito importante

na elaboração de projetos de edifícios de concreto armado, e visa garantir a segurança da estrutura perante o estado limite último de instabilidade, situação que representa a perda da capacidade resistente da estrutura causada pelo aumento das deformações (Moncayo, 2011).

2.2.1 Estados-Limites

Todas as estruturas deverão se comportar bem em pelo menos três diferentes aspectos: quanto à segurança, desempenho em serviço e durabilidade (Araújo, 2014). A segurança diz respeito à não ocorrência de ruptura ou perda de equilíbrio estático durante sua vida útil, e nisso se inclui a fase construtiva da estrutura. O desempenho de seu comportamento em serviço se relaciona aos limites máximos de deformações e formação de fissuras, pois esses podem tanto causar desconfortos aos usuários bem como afetar a segurança da estrutura em si. E a durabilidade é o requisito da estrutura se manter habitável, sem grandes reparos, durante o tempo de vida útil para o qual foi projetada (Marques, 2022).

Quando algum Estado Limite é alcançado, a estrutura pode deixar de atender aos aspectos necessários para um uso confortável pelo usuário, bem como apresentar riscos graves de segurança (Kimura, 2018).

A NBR 6118 (ABNT, 2023), considera os estados-limites últimos e os estados-limites de serviço.

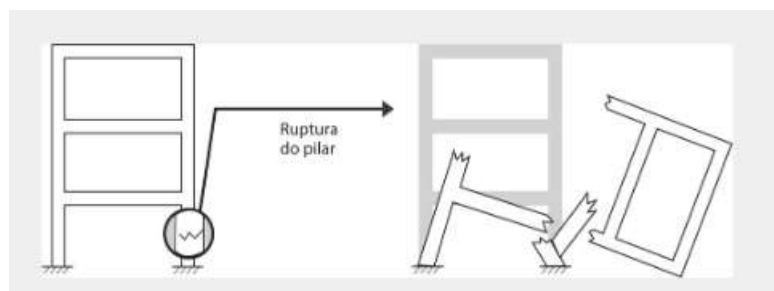
2.2.1.1 Estados-Limites Últimos (ELU)

Estados limites últimos (ou de ruína): são aqueles relacionados ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural que determine a paralisação, no todo ou em parte, do uso da estrutura, Figura 2.2. No projeto das estruturas de concreto armado, deve-se verificar a segurança em relação aos seguintes estados limites últimos, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023):

- a) perda de equilíbrio da estrutura, admitida como um corpo rígido;
- b) esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- c) ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais;
- d) estado-limite último provocado por solicitações dinâmicas;

- e) estado-limite último de colapso progressivo;
- f) esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a ABNT NBR 15200;
- g) esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a ABNT NBR 15421;
- h) outros estados-limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais;

Figura 2.2- Representação ELU



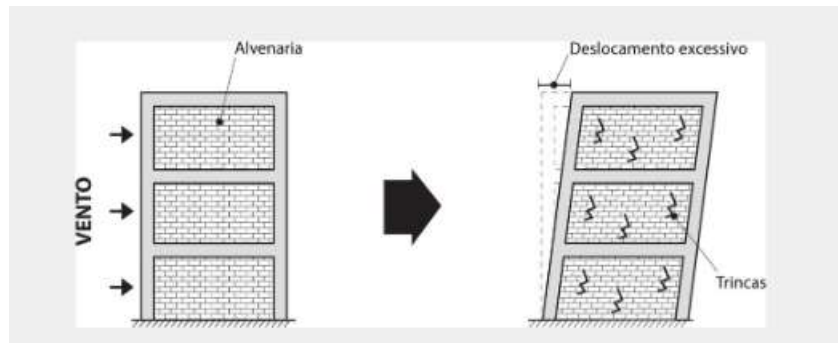
Fonte: Kimura (2007)

2.2.1.2 Estados-Limites de Serviço (ELS)

A NBR 6118 (ABNT, 2023) traz a definição dos estados-limites de serviços como sendo aqueles que dizem respeito ao conforto do usuário e à durabilidade, a aparência, quanto às fissuras Figura 2.3, e boa utilização das estruturas, sejam em relação aos usuários, seja em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas.

Logo, nos projetos das estruturas usuais de concreto armado, devem ser considerados os estados-limites de serviço sendo eles: estado-limite de serviço de formação de fissuras, estado-limite de serviço de abertura das fissuras, estado-limite de serviço de deformações excessivas, estado-limite de serviço de descompressão, estado-limite de serviço de descompressão parcial, estado-limite de serviço de compressão excessiva e estado-limite de serviço de vibrações excessivas (NBR 6118:2023).

Figura 2.3- Representação ELS



Fonte: Kimura (2007)

2.2.2 Efeitos de 1ª Ordem

Os efeitos de 1ª ordem são os efeitos que acontecem na estrutura quando analisada em sua configuração geométrica inicial, isto é, não deformada, Figura 2.4. Os efeitos de 1ª ordem são utilizados de forma a simplificar a análise das estruturas e se mostram dentro de certos limites, satisfatórios para representação dos esforços atuantes em estruturas convencionais (Dreyer, 2018).

Figura 2.4– Efeitos de 1ª ordem



Fonte: Kimura (2007)

2.2.3 Efeitos de 2ª Ordem

Os efeitos de 2ª ordem são aqueles que surgem quando a estrutura é analisada com sua configuração deformada. Segundo Carvalho e Pinheiro (2009) os efeitos de 2ª ordem levam a uma não-linearidade entre as ações e deformações na estrutura (Dreyer, 2018).

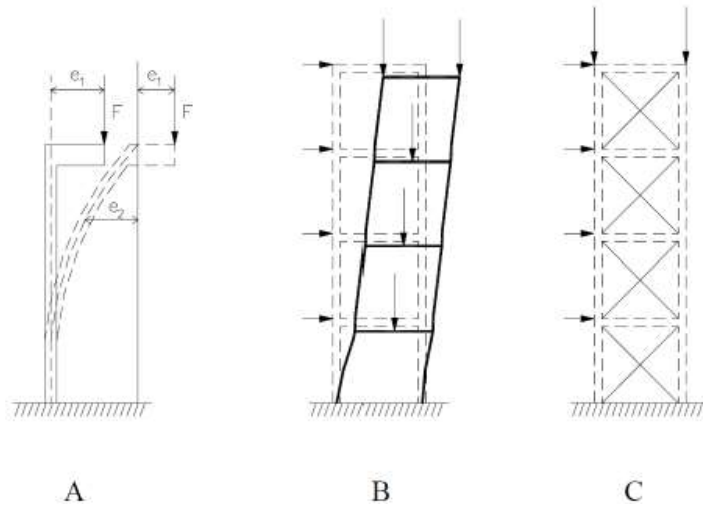
A NBR 6118 (ABNT, 2023), define esses efeitos da seguinte forma:

Efeitos de 2ª ordem são aqueles que se somam aos obtidos em uma análise de primeira ordem (em que o equilíbrio da estrutura é estudado na configuração geométrica inicial), quando a análise do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada.

Logo, os efeitos finais que ocorrem na estrutura podem ser considerados como a soma dos de 1ª ordem e dos de 2ª ordem.

Para exemplificar melhor, são apresentadas na Figura 2.5 algumas estruturas sujeitas a cargas que tendem a criar efeitos de 2ª ordem. Em A, tem-se uma barra submetida a uma força vertical. Ela possui um certo valor de momento fletor na base, com deslocamento de “ e_1 ”, quando em sua configuração não deformada (momento fletor de 1ª ordem); e quando é submetida a um valor maior de momento fletor – sendo, a soma do momento fletor de 1ª ordem com o momento fletor de 2ª ordem – aumentando o deslocamento, gerando a excentricidade de 2ª ordem, ocasionado pela amplificação do deslocamento horizontal relativo a força F . Em B se observa um pórtico plano cujos efeitos de 2ª ordem podem apresentar valores elevados (devido à aparente baixa rigidez horizontal), colocando em risco a estabilidade global da estrutura. Por outro lado, em C, é apresentado um pórtico cujos deslocamentos parecem ser nulos (aparentemente pela presença de elementos de contraventamento), o que tornaria os efeitos de 2ª ordem desprezíveis nesse caso, não representando risco a estabilidade global da estrutura (Dreyer, 2018).

Figura 2.5– Deslocamento horizontal da estrutura



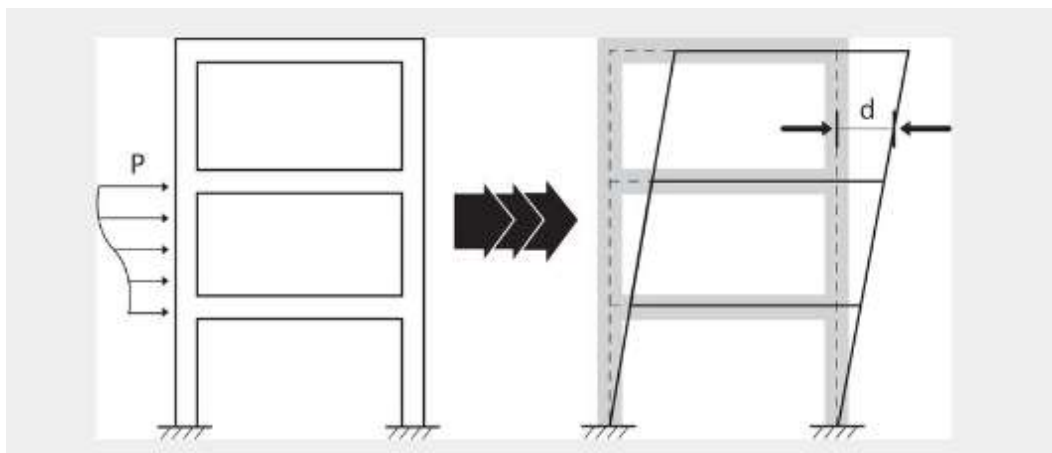
Fonte: FUSCO (1994).

Segundo Kimura (2007), os efeitos de 2ª ordem globais são aqueles em que a análise estrutural considera a edificação como um todo. Dessa análise de 2ª ordem originará os esforços finais de uma estrutura em equilíbrio na sua posição deformada. Os momentos de cálculo são considerados nos efeitos de 2º ordem, onde todas as combinações serão analisadas e consideradas (Rodrigues, 2019).

2.2.4 Tipos de Análise

Seja uma estrutura qualquer submetida a um carregamento “P”, cujo deslocamento resultante num determinado ponto seja igual a “d”, Figura 2.6 (Kimura, 2007).

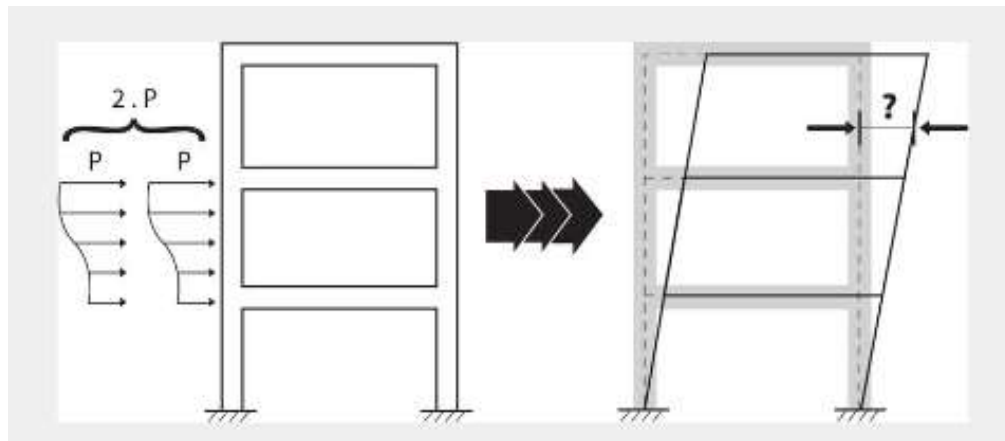
Figura 2.6– Deslocamento “d”



Fonte: Kimura (2007)

Agora, pode-se adicionar nessa estrutura outra carga “P”, resultando em um carregamento “2P”, Figura 2.7.

Figura 2.7– Deslocamento “2d”



Fonte: Kimura (2007)

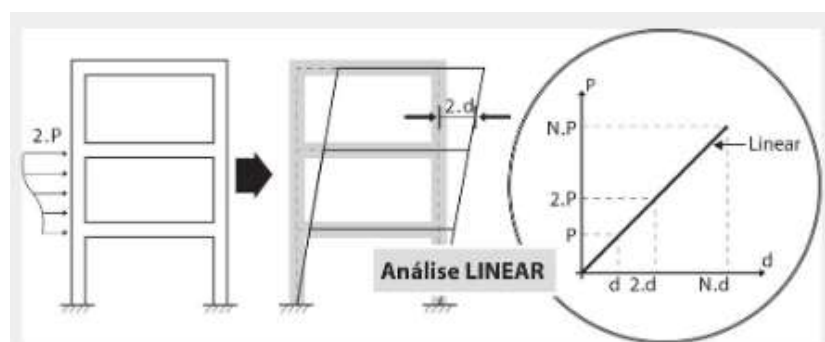
Nem sempre a estrutura se comporta de forma linear, pois vários fatores influenciam no comportamento dessa estrutura, como por exemplo, o próprio concreto armado, por não ser um material linear.

Para a situação de projeto, a análise estrutural pode ser efetuada por um dos métodos apresentados nos itens 14.5.2 a 14.5.6 da NBR 6118 (ABNT, 2023), que se diferenciam pelo comportamento admitido para os materiais constituintes da estrutura, não perdendo de vista em cada caso as limitações correspondentes.

2.2.4.1 Análise linear

A análise linear leva em consideração que a estrutura se desloca proporcionalmente à força que lhe é aplicada. Mas esse tipo de análise não pode ser levado em conta nos cálculos de estrutura de concreto armado, pois, o próprio material possui um comportamento não-linear. Na Figura 2.8, a estrutura submetida a um carregamento “ $2 \cdot P$ ”, se desloca proporcional, resultando igual a “ $2 \cdot d$ ”.

Figura 2.8– Análise linear



Fonte: Kimura (2007)

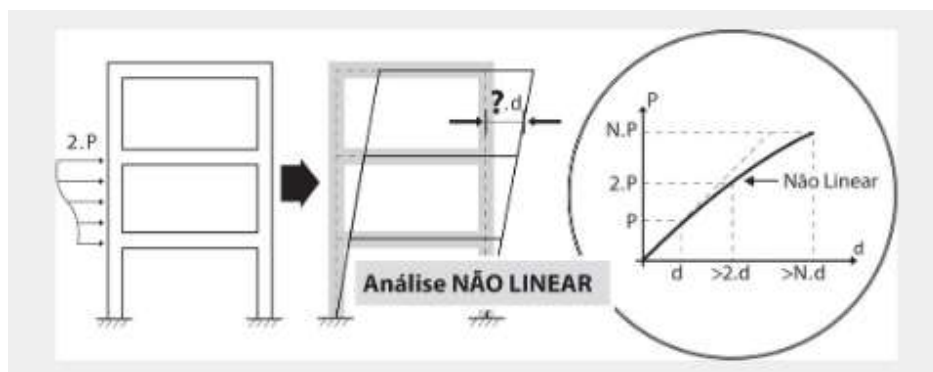
A NBR 6118 (ABNT, 2023) no item 14.5.2 diz que nesse tipo de análise admite-se comportamento elástico-linear para os materiais. Os resultados de uma análise linear são usualmente empregados para a verificação de estados limites de serviço. Os esforços solicitantes decorrentes de uma análise linear podem servir de base para o dimensionamento dos elementos estruturais no estado-limite último, mesmo que esse dimensionamento admita a plastificação dos materiais, desde que se garanta uma ductilidade mínima às peças.

2.2.4.2 Análise não-linear

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023) na análise não linear, considera-se o comportamento não linear geométrico e dos materiais. Toda a geometria da estrutura, bem como todas as suas armaduras, precisa ser conhecida para que a análise não linear possa ser efetuada, pois a resposta da estrutura depende de como ela foi armada. Condições de equilíbrio, de compatibilidade e de ductilidade devem ser necessariamente satisfeitas. Análises não lineares podem ser adotadas tanto para verificações de estados-limites últimos como para verificações de estados-limites de serviço.

De acordo com Kimura (2007), a análise não-linear de forma bastante simplificada, é um cálculo no qual a resposta da estrutura, seja em deslocamentos, esforços ou tensões, possui um comportamento não-linear, isto é, desproporcional à medida que um carregamento é aplicado. Aplicando o mesmo carregamento “ $2.P$ ”, o deslocamento resultante seria um valor diferente de “ $2.d$ ”, e provavelmente seria ainda maior, como pode ser visto na Figura 2.9.

Figura 2.9– Análise não-linear



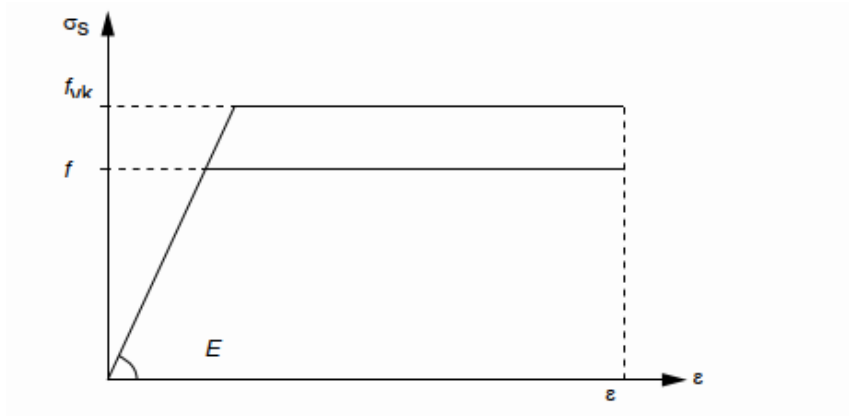
Fonte: Kimura (2007)

Esse comportamento não-linear da estrutura é resultado de dois fatores que modificam uma estrutura à medida que o carregamento é aplicado: a não-linearidade física (NLF) e a não-linearidade geométrica (NLG).

2.2.4.3 Não-Linearidade Física (NLF)

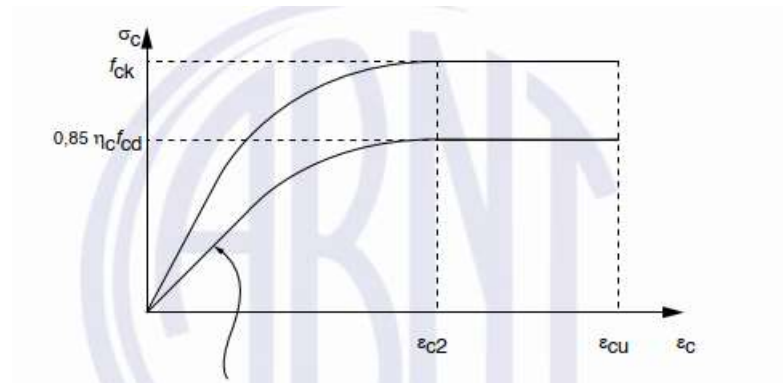
A não-linearidade física (NLF) é causada pelo comportamento não-linear do próprio concreto armado. Os efeitos da fissuração, da fluência, do escoamento da armadura, todos eles conferem ao concreto armado esse comportamento não-linear, como representado nas Figura 2.10 e Figura 2.11, o diagrama de tensão e escoamento do aço e concreto (Moncayo, 2011).

Figura 2.10 – Diagramas tensão x deformação de cálculo do aço para armadura passiva



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023)

Figura 2.11– Diagramas tensão x deformação do concreto armado



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023)

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), ao analisarem-se os esforços globais de 2ª ordem em estruturas reticuladas, a NLF pode ser obtida de uma maneira simplificada ao reduzir a rigidez dos elementos estruturais por meio de alguns fatores:

- Lajes: $(EI)_{\text{sec}} = 0,3 E_c I_c$
- Vigas: $(EI)_{\text{sec}} = 0,4 E_c I_c$ para $A_s' \neq A_s$ e
 $(EI)_{\text{sec}} = 0,5 E_c I_c$ para $A_s' = A_s$
- Pilares: $(EI)_{\text{sec}} = 0,8 E_c I_c$

Onde,

I_c é o momento de inércia da seção bruta de concreto, incluindo, quando for o caso, as mesas colaborantes.

E_c é o valor representativo do módulo de deformação do concreto conforme consta no item 15.5.1 da NBR 6118 (ABNT, 2023).

Os valores de rigidez adotados nesta seção são aproximados e não podem ser usados para avaliar esforços locais de 2ª ordem, mesmo com uma discretização maior da modelagem.

Em estruturas de edificações com menos de quatro andares em que as forças verticais nos pilares sejam pequenas ($N_{Sd} < 0,1 A_c * f_{cd}$), como em alguns galpões, a redução de rigidez dos elementos estruturais deve ser avaliada de forma específica. (NBR 6118 - ABNT, 2023)

Esses fatores demonstram uma forma simplificada de assumir a NLF apenas na análise da estabilidade global. Não se podem utilizar esses fatores para análise local dos elementos isolados, pois eles são uma aproximação (Moncayo, 2011).

2.2.4.4 Não-Linearidade Geométrica (NLG)

A Não-Linearidade Geométrica acontece quando a estrutura muda de posição no espaço. Quando por influência de cargas, sejam elas horizontais ou verticais, ocorre a translação dos nós da estrutura, essa terá seu equilíbrio na condição deformada. E ao analisar o equilíbrio da estrutura nessa posição há o surgimento dos esforços de segunda ordem global (Wordell, 2003), como representado na Figura 2.12.

Figura 2.12– Efeitos de 2ª ordem

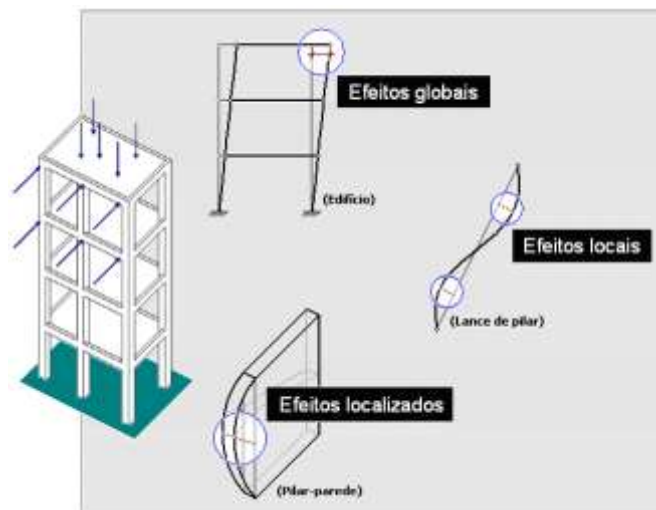


Fonte: Kimura (2007)

2.2.5 Tipo de efeitos de 2ª ordem

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), há três tipos de efeitos de 2ª ordem: globais, locais e localizados, como são representados na Figura 2.13.

Figura 2.13– Tipo de efeitos de 2ª ordem



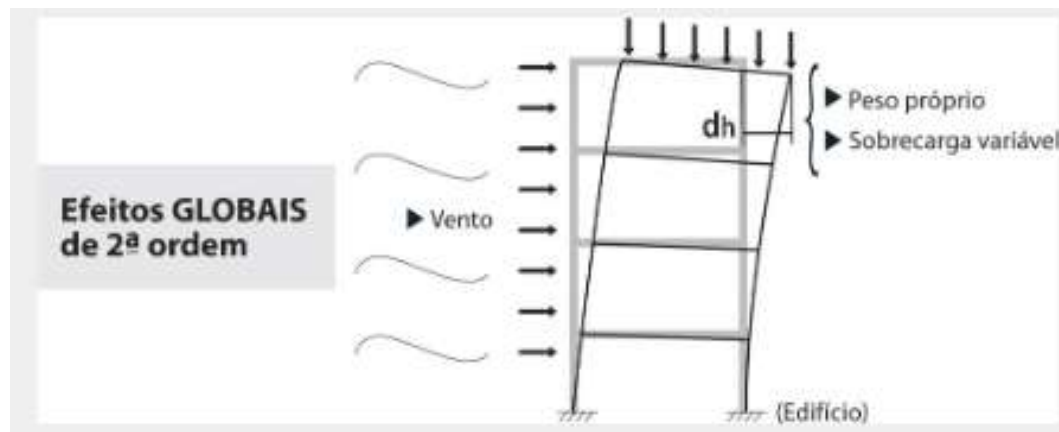
Fonte: Kimura (2007)

2.2.5.1 Efeitos de 2ª Ordem Globais

De acordo com Kimura (2007), os efeitos globais podem ser explicados como, (Figura 2.14):

Os efeitos globais estão relacionados ao edifício como um todo, isto é, ao conjunto completo formado pelos pilares, vigas e lajes. Por exemplo: um edifício submetido à ação do vento se desloca horizontalmente. E, por essa razão, geram-se efeitos de segunda ordem devido à presença simultânea de cargas verticais (peso próprio + sobrecarga).

Figura 2.14– Tipo de efeitos de 2ª ordem globais

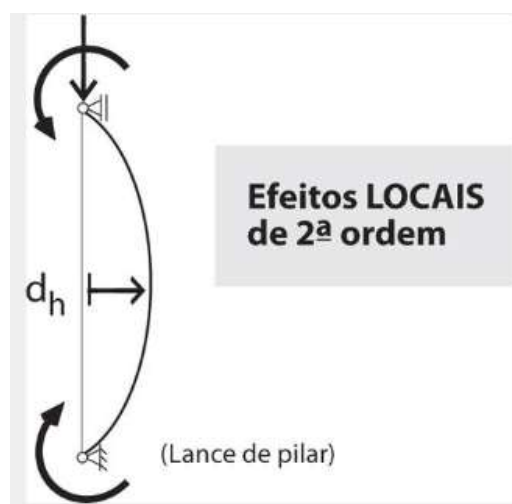


Fonte: Kimura (2007)

2.2.5.2 Efeitos de 2ª Ordem Locais

Os efeitos locais são aqueles associados a uma parte isolada da estrutura. É possível analisar, pela Figura 2.15, por exemplo, um pilar que recebe a atuação de momentos fletores no seu topo e na sua base, são produzidos efeitos de 2ª ordem gerados pela carga normal de compressão (Kimura, 2007).

Figura 2.15– Efeitos de 2ª ordem locais



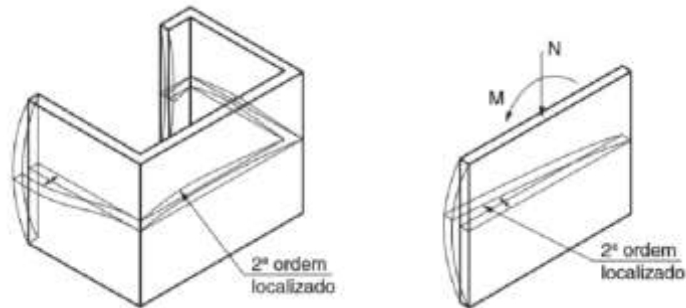
Fonte: Kimura (2007)

2.2.5.3 Efeitos de 2ª Ordem Localizados

Por fim, os efeitos localizados, são aqueles que se referem à uma região específica de um elemento na qual se concentram tensões. Como um exemplo desse tipo de efeito, é possível citar um pilar-parede sob a atuação de momento fletor segundo sua direção mais rígida que se deforma mais em uma de suas extremidades. Essa carga normal de compressão mais

significativa nessa região resulta em um efeito de 2ª ordem localizado, Figura 2.16 (Kimura, 2007).

Figura 2.16– Tipo de efeitos de 2ª ordem localizados



Fonte: Kimura (2007)

2.2.6 Estruturas de nós fixos e estruturas de nós móveis

De acordo com o item 15.4.2 da NBR 6118 (ABNT, 2023) que diz respeito à mobilidade dos elementos da estrutura, ela pode ser considerada como de “nós fixos” ou de “nós móveis” em sua análise global. As estruturas são consideradas, para efeito de cálculo, como de nós fixos, quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis (inferiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas, basta considerar os efeitos locais e localizados de 1ª ordem. Portanto, quando os efeitos de 2ª ordem não representarem um acréscimo superior a 10%, a estrutura possui nós fixos e esses efeitos podem ser desprezados (NBR 6118, 2023).

A NBR 6118 (ABNT, 2023) explicita que na análise estrutural de estruturas de nós móveis, devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos da não linearidade geométrica e da não linearidade física, e no dimensionamento devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos globais e locais de 2ª ordem.

2.2.7 Parâmetros de Instabilidade Global

Os parâmetros de instabilidade global são utilizados para obter classificação da estrutura se os efeitos de 2ª ordem deverão ou não ser levados em consideração no cálculo estrutural. Eles são de grande importância e precisam ser calculados pelo projetista estrutural para obter-se o melhor arranjo para a estrutura.

2.2.7.1 Parâmetro α

O Parâmetro Alfa foi deduzido por Beck e König em 1967 e definido como parâmetro de instabilidade por Mario Franco, segundo Augusto Vasconcelos escreveu em seu artigo “A origem dos parâmetros de estabilidade α e γ_z ” (1998). Porém, tem algumas limitações na aplicação de estruturas muito assimétricas ou que porventura venham a ter deslocamentos horizontais causados por ação de carregamentos verticais, tendo seu uso mais limitado (Moncayo, 2011).

O parâmetro α indica a necessidade ou não de ser considerar a NLG (Não-linearidade geométrica) no projeto de edifícios de concreto armado, conforme seu valor esteja acima ou abaixo de certos limites (Pinto, 1997). Uma estrutura reticulada simétrica pode ser considerada como sendo de nós fixos se seu parâmetro de instabilidade α for menor que o valor α_1 , conforme a expressão da equação 2.1 da NBR 6118 (ABNT, 2023):

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{Nk}{(EcsIc)}} \quad \text{Equação 2.1}$$

Sendo,

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1 n \quad \text{se: } n \leq 3$$

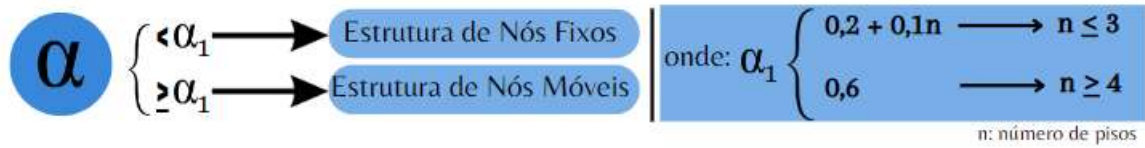
$$\alpha_1 = 0,6 \quad \text{se: } n \geq 4$$

onde:

- n é o número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de nível pouco deslocável do subsolo;
- H_{tot} é a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de nível pouco deslocável do subsolo;
- Nk é o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H_{tot}) com seu valor característico;
- $EcsIc$ representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórtico, de treliças ou mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura pode ser considerado o valor da expressão $EcsIc$ de um pilar equivalente de seção constante. O valor de Ic deve ser calculado considerando as seções brutas dos pilares.

O valor limite $\alpha_1 = 0,6$ pode ser aumentado para 0,7 caso o contraventamento seja constituído exclusivamente por pilares-parede, e pode ser reduzido para 0,5 quando só houver pórticos, Figura 2.17. O parâmetro α tem como objetivo apenas avaliar a estabilidade global (NBR 6118, 2023).

Figura 2.17 – Valores de alfa para estrutura de nós fixos ou nós móveis



Fonte: Autor (2023)

2.2.7.2 Coeficiente γ_z (GammaZ)

A formulação do Gama Z foi deduzida pelos engenheiros brasileiros Augusto Carlos de Vasconcelos e Mario Franco. Além de avaliar a estrutura ele também estima os esforços de segunda ordem a partir da aplicação de um fator demonstrado na NBR 6118 (ABNT, 2023). Para aplicar o coeficiente, é necessário adotar os valores reduzidos de rigidez que foram apresentados anteriormente no item 2.2.4.3 (Marques, 2022).

O coeficiente γ_z é um parâmetro que tem como objetivo avaliar a estabilidade global de um edifício e estimar os esforços de segunda ordem da estrutura. Considera-se inicialmente a deformação devido às ações de primeira ordem. Após essa primeira deformação, surgem novos esforços que provocarão novas deformações e assim sucessivamente (Leão, 2014).

O valor de γ_z para cada combinação de carregamento é dado pela expressão na equação 2.2:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M1_{tot,d}}} \quad \text{Equação 2.2}$$

Onde,

$M1_{tot,d}$ é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem. Considera-se que a estrutura é de nós fixos se for obedecida a condição $\gamma_z \leq 1,1$.

Os valores do coeficiente são de fácil interpretação. Por exemplo, caso haja um $\gamma_z = 1,1$ isso implica que os efeitos de 2º ordem são em torno de 10% dos efeitos de primeira ordem. KIMURA (2018) analisou os valores mais correntes de γ_z e chegou às seguintes conclusões:

- Valores usuais e comuns são aqueles um pouco acima de 1. Como: 1,10, 1,15, 1,20;
- Valores de $\gamma_z \geq 1,5$. indicam alta instabilidade ou impraticabilidade. Como: 1,8, 1,9, 2,0;
- Valores de $\gamma_z \leq 1$, ou negativos, são errôneos e demonstram algum tipo de erro ou, então, uma estrutura totalmente instável. O valor ideal de projeto para o parâmetro γ_z é igual ou inferior a 1,1, Figura 2.18.

A Estabilidade global de uma edificação é inversamente proporcional aos efeitos Globais de 2º ordem (Marques, 2022).

Figura 2.18– Valores de γ_z para estrutura de nós fixos ou nós móveis



Fonte: Autor (2023)

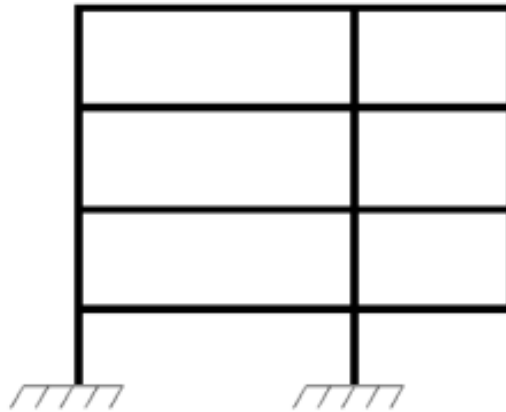
2.2.7.3 Coeficiente FAVt

O coeficiente FAVt (Fator de amplificação de esforços horizontais ou de vento) é exclusivo do sistema CAD/TQS e também pode ser considerado um parâmetro que avalia a estabilidade global. Segundo Moncayo (2011), ele é calculado utilizando-se exatamente a mesma formulação do coeficiente γ_z , com a diferença de que nele os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais são considerados. Portanto, há diferença no momento devido aos esforços de segunda ordem. Logo, a formulação do coeficiente FAVt é da seguinte forma pela equação 2.3:

$$FAVt = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad \text{Equação 2.3}$$

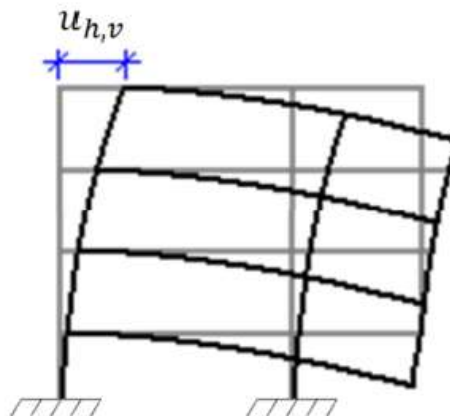
Haverá maior diferença nos resultados entre γ_z e FAVt nos casos de edifícios não simétricos, como na figura Figura 2.19, que possui balanços só de um lado da estrutura, gerando um momento em cada piso e provocando o deslocamento horizontal devido às cargas verticais, Figura 2.20.

Figura 2.19– Estrutura não simétrica



Fonte: Moncayo (2011)

Figura 2.20 - Deslocamento horizontal devido ao carregamento vertical.



Fonte: Moncayo (2011)

Moncayo (2011), expressa que:

O cálculo do FAVt é feito principalmente para aplicação do método aproximado para avaliação dos efeitos de globais de segunda ordem ($0,95 \cdot \gamma_z$) proposto pela NBR 6118:2003, que pode ser chamado de ($0,95 \cdot \text{FAVt}$) neste caso. Quando os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais atuam no sentido do vento, FAVt é maior que γ_z . Em situações contrárias, isto é, quando os deslocamentos oriundos das cargas verticais atuam em sentido oposto ao do vento (favorecendo a estabilidade), FAVt é menor que γ_z .

Moncayo (2011) também atenta ao fato de que à medida que a edificação vai sendo construída, o construtor coloca o prédio no prumo novamente. Portanto não é preciso considerar 100% do deslocamento horizontal devido às cargas verticais.

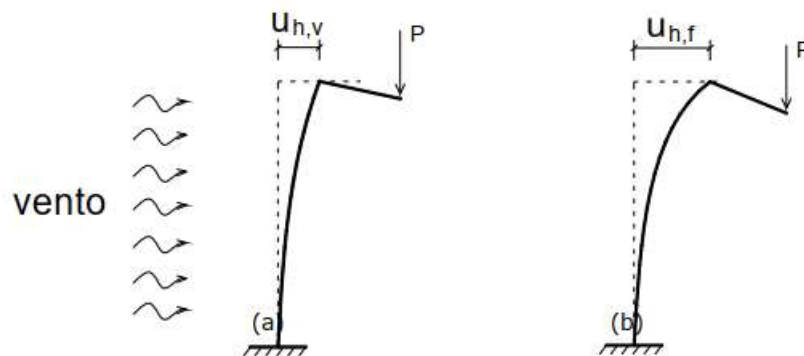
O Sistema CAD/TQS opta pelo coeficiente FAVt como sendo o coeficiente majorador dos esforços de primeira ordem; e adota também automaticamente o coeficiente γ_z como majorador,

quando a situação se recai nesse último caso em que os deslocamentos devido às cargas verticais ocorrem no sentido oposto ao do vento, descartando o FAVt (Moncayo, 2011).

Em edificações simétricas, o coeficiente γ_z e FAVt são idênticos, visto que nesses casos não irá existir deslocamento horizontal devido a carregamentos verticais. Se a edificação for não simétrica, esses coeficientes terão valores diferentes.

Para ilustrar melhor a forma como os coeficientes γ_z e FAVt trabalham, será utilizado o mesmo exemplo que Moncayo (2011) utilizou explicando que para uma estrutura não simétrica com carregamento P concentrado na extremidade do balanço; a estrutura sofre um deslocamento ($u_{h,v}$), e o fato do vento atuar no mesmo sentido do deslocamento irá aumentá-lo, resultando em um deslocamento horizontal final ($u_{h,f}$) maior que ($u_{h,v}$), como representado na Figura 2.21, explicando o valor de FAVt ser maior do que γ_z nessas situações.

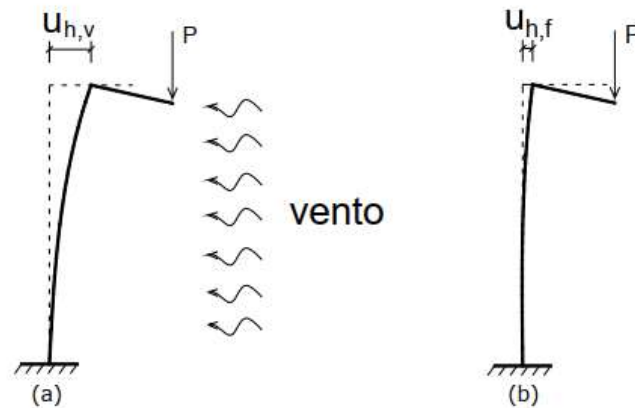
Figura 2.21– Vento no sentido do deslocamento horizontal devido à carga vertical



Fonte: Moncayo (2011)

Já quando o sentido do vento for oposto ao do deslocamento horizontal, irá diminuir o deslocamento horizontal, resultando num deslocamento final ($u_{h,f}$) menor que ($u_{h,v}$), sendo representado pela Figura 2.22, resultando num valor do FAVt menor do que γ_z nessas situações.

Figura 2.22 – Vento no sentido oposto do deslocamento horizontal devido à carga vertical



Fonte: Moncayo (2011)

2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESTABILIDADE

A estabilidade global de uma estrutura depende de uma série de fatores interligados, que podem variar de acordo com a estrutura de projeto para projeto. Esses fatores, quando modificados, podem alterar diretamente o grau de instabilidade de uma estrutura. Alguns desses fatores são: as cargas atuantes (ações horizontais e ações verticais), a rigidez da estrutura, o modelo estrutural adotado (tipo de laje, disposição dos pilares) e interação solo estrutura.

Vale ressaltar que alguns fatores possuem maior influência do que outros na estabilidade global, e quando alterados, trazem melhores resultados para a análise da estrutura. Como por exemplo, alterar a inércia dos pilares, que pode trazer melhorias na estabilidade global.

É de suma importância o engenheiro calculista ter pleno conhecimentos dos fatores que mais impactam na estabilidade global de uma estrutura, como mudança de posição dos pilares, para saber em quais ele deve alterar a fim de se obter o melhor arranjo estrutural e eficiente na condição de estabilidade de nós fixos e nós móveis. Neste trabalho serão analisadas variações que contemplam alguns desses fatores, a fim de obter resultados variados de acordo com o fck do concreto, número de pavimentos e posição dos pilares.

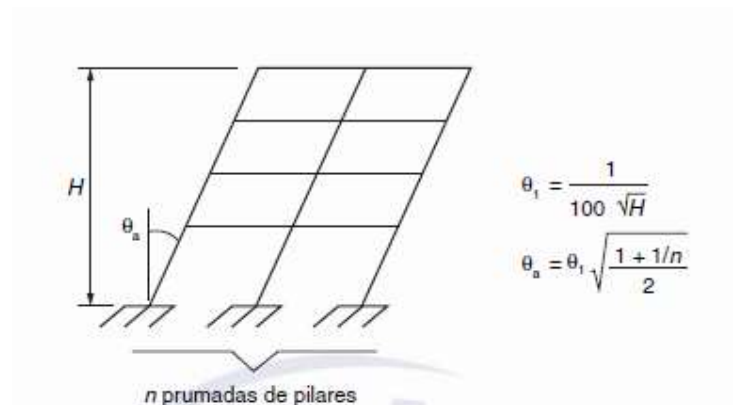
2.3.1 Cargas atuantes

2.3.1.1 Ações horizontais

No Brasil, as principais ações horizontais a serem consideradas na análise de estabilidade das estruturas é a ação do vento e as imperfeições geométricas (desaprumo). Para considerar as forças devido a ação do vento nas edificações, deve-se utilizar a NBR 6123 (ABNT,1988).

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), na análise global das estruturas sejam elas contraventadas ou não, deve ser considerado um desaprumo dos elementos verticais, conforme é apresentado na Figura 2.23.

Figura 2.23– Imperfeições geométricas globais



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023)

Onde:

$\theta_{1min} = 1/300$ para estruturas reticuladas e imperfeições locais;

$\theta_{1máx} = 1/200$;

H é a altura total da edificação, expressa em metros (m);

n é o número de prumadas de pilares no pórtico plano.

Para a avaliação das ações do vento e desaprumo, será seguidas as considerações da NBR 6118 (ABNT, 2023), que devem ser realizadas de acordo com as seguintes possibilidades:

a) Quando 30 % da ação do vento for maior que a ação do desaprumo, considera-se somente a ação do vento.

b) Quando a ação do vento for inferior a 30 % da ação do desaprumo, considera-se somente o desaprumo respeitando a consideração de $q_{1mín}$, conforme definido acima.

c) Nos demais casos, combina-se a ação do vento e desaprumo, sem necessidade da consideração do θ_{1min} . Nessa combinação, admite-se considerar ambas as ações atuando na mesma direção e sentido como equivalentes a uma ação do vento, portanto como carga variável, artificialmente amplificada para cobrir a superposição.

De acordo com Kimura (2018), a magnitude das cargas horizontais aplicadas à estrutura, como o vento, por exemplo, não tem influência na estabilidade da estrutura. Isso acontece porque quando se aumenta a força horizontal, o deslocamento horizontal é proporcional a força, logo, mantem-se a relação $\Delta M_{tot,d} / M1_{tot,d}$, e o valor de γ_z mantém-se o mesmo.

Embora a magnitude das forças horizontais não influenciem na estabilidade global de uma estrutura, considerar a ação do vento é necessário e de grande importância no cálculo estrutural, visto que a não consideração dessa força horizontal, pode levar a sérios problemas estruturais ou até mesmo ao colapso, como aconteceu com o edifício Real Class, em 2011, na cidade de Belém, capital do Pará, onde a estrutura projetada apresentou grande flexibilidade pelos parâmetros de instabilidade muito maior do que os previstos em normativas, e o edifício veio a colapso ainda em fase de construção, segundo Ribeiro e Oliveira (2018) descreveram no artigo *The collapse of Real Class Building*, publicado na Revista Ibracon de Estruturas e Materiais.

2.3.1.2 Ações Verticais

No caso das cargas verticais pode-se afirmar que estas influenciam diretamente a instabilidade (Kimura, 2007) e quanto maior a magnitude deste carregamento, maiores serão α e γ_z . Logo, uma das formas de melhorar a estabilidade de edifícios altos é alterar as cargas verticais através de materiais mais leves, por exemplo.

2.3.1.3 Rigidez

A rigidez de uma estrutura influencia diretamente na estabilidade global, logo, quanto mais rígida a estrutura for, melhor será o seu comportamento no grau de estabilidade. Em estruturas formadas por pórticos, onde os pilares e vigas tem preponderância na influência da estabilidade global, aumentar a rigidez desses elementos e rearranja-los dentro da arquitetura é uma alternativa para melhorar a estabilidade global (Freitas, 2015).

Kimura (2007), explica a influência da rigidez como:

A rigidez de uma estrutura implica diretamente na magnitude dos deslocamentos que esta irá sofrer ao ser solicitada pelo carregamento horizontal. Quanto mais rígida,

menos ela se desloca e menor efeito de segunda ordem é gerado. As forças horizontais são consideradas na análise de forma simplificada atuando no nível de cada piso e apesar das lajes conferirem grande rigidez nesse plano, tem pouca influência na estabilidade global, especialmente quando o modelo adotado não considera a rigidez transversal à flexão destes elementos.

2.3.1.4 Interação solo-estrutura

Moncayo (2011), traz uma definição de interação solo-estrutura sendo:

Quando a análise global da superestrutura (edifício) e a infraestrutura (fundação) são realizadas em conjunto, ou seja, considerando-se um corpo único e levando-se em consideração o solo em que a edificação está apoiada, tal análise é chamada de interação solo-estrutura.

De acordo ainda com Moncayo (2011), apesar de alguns projetistas analisarem a estrutura separadamente da infraestrutura, admitindo-se a estrutura engastada no solo, não é assim que o solo se comporta na realidade. O solo é um corpo deformável, logo, as deformações que acontecem no mesmo são de grande importância e devem ser levadas em consideração na interação solo-estrutura.

E esse tipo de análise é o mais próximo da realidade, pois considera a deformabilidade do solo, a qual influencia a distribuição de esforços na estrutura (Cabral, 2018).

2.3.1.5 Fck

O f_{ck} é um dos fatores que tem pouca influência na estabilidade global de uma estrutura segundo os trabalhos de Assis (2018) e Rodrigues (2019). É certo de que o aumento do módulo de elasticidade do concreto contribui para rigidez da estrutura, trazendo resultados positivos na estabilidade global. Mas esse aumento é pouco significativo diante de outras modificações que podem ser feitas e gerar resultados mais expressivos, como por exemplo, a modificação da posição de pilares.

CAPÍTULO 3 METODOLOGIA

Para avaliar o desempenho dos parâmetros de instabilidade global α , γ_z e FAVt, será utilizada uma edificação definida no trabalho de Assis (2018), por um método analítico e numérico, sendo uma edificação que possui simetria, apresentando igualdade nos resultados dos parâmetros. Serão feitas modificações na disposição dos pilares e no número de pavimentos, levando em consideração em qual altura, o arranjo estrutural original dessa edificação começará a influenciar diretamente na estabilidade global da mesma. Todas as simulações serão feitas utilizando o software CAD/TQS da empresa TQS. Utilizando o software serão trabalhadas algumas modificações tais como:

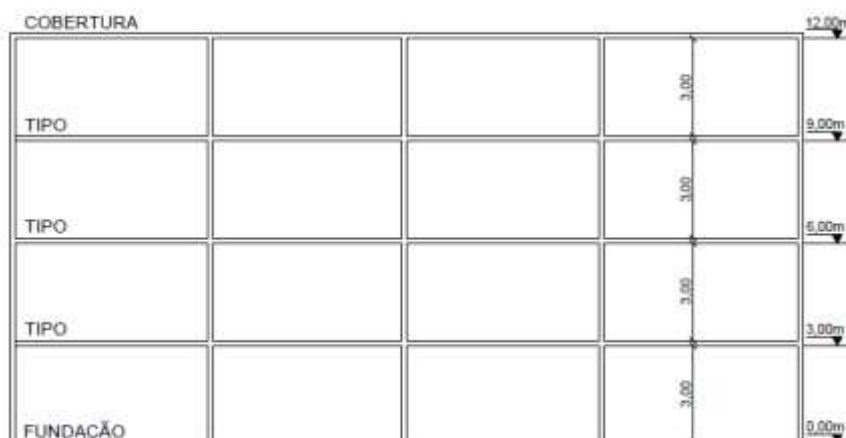
- Adicionando laje em balanço;
- Modificar a disposição dos pilares;
- O número de pavimentos;

3.1 Apresentação do edifício analisado

Para a execução deste trabalho foi definido a planta de forma de uma edificação real, Anexos (A-1, A-2, A-3, A-4 e A-5), a mesma estudada no trabalho de Assis (2018) e com seguimento de estudo no trabalho da Rodrigues (2019). Com o interesse de dar continuidade a seu estudo, lançando a mesma no programa CAD/TQS, para ser analisados os resultados obtidos a partir das ferramentas que a NBR 6118 (ABNT, 2023) disponibiliza como: parâmetro de instabilidade global α e o coeficiente γ_z , além de estudar ainda o parâmetro FAVt, para que a estrutura seja classificada em nós fixos ou nós móveis.

O corte esquemático com os quatros pavimentos, é representado pela Figura 3.1:

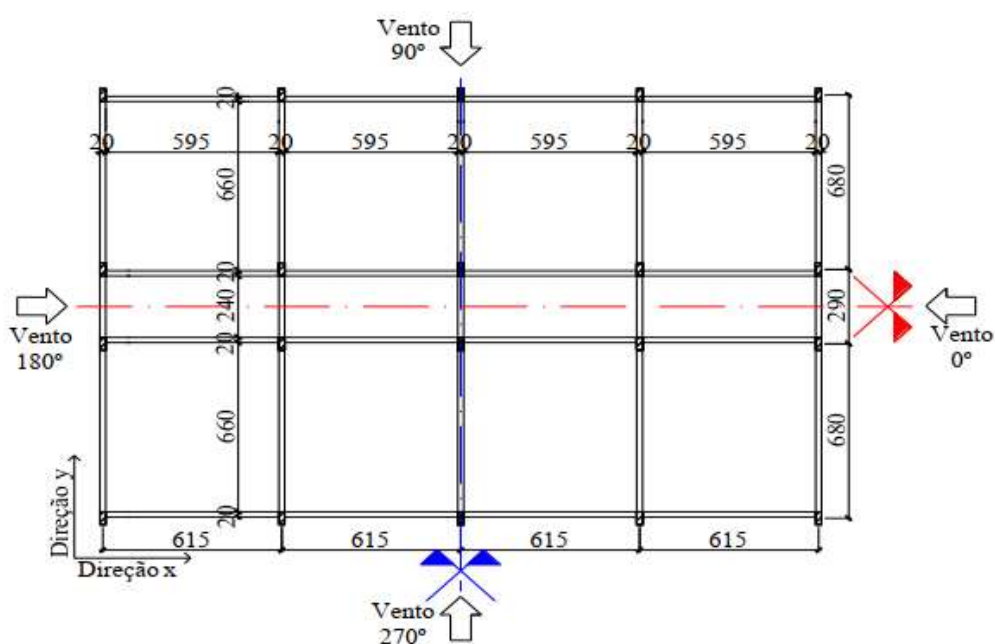
Figura 3.1 - Corte esquemático (sem escala, dimensões em metros)



Fonte: Acervo do Autor (2023)

Como a edificação em estudo possui simetria nas duas direções, aqui identificadas como x e y, o cálculo dos parâmetros de instabilidade global será realizado levando em consideração apenas duas direções, já que os resultados obtidos serão idênticos aos dois outros lados da simetria, resultando em valores iguais nos parâmetros. O esquema de simetria é o mesmo representado na Figura 3.2 de Assis (2018), replicando também a mesma representação da ação dos ventos para indicar as direções consideradas simétricas (Vento 0° e Vento 180° - direção x e Vento a 90° e Vento 270° - direção y).

Figura 3.2 – Esquema de simetria (dimensões em centímetros, sem escala)



Fonte: Assis (2018)

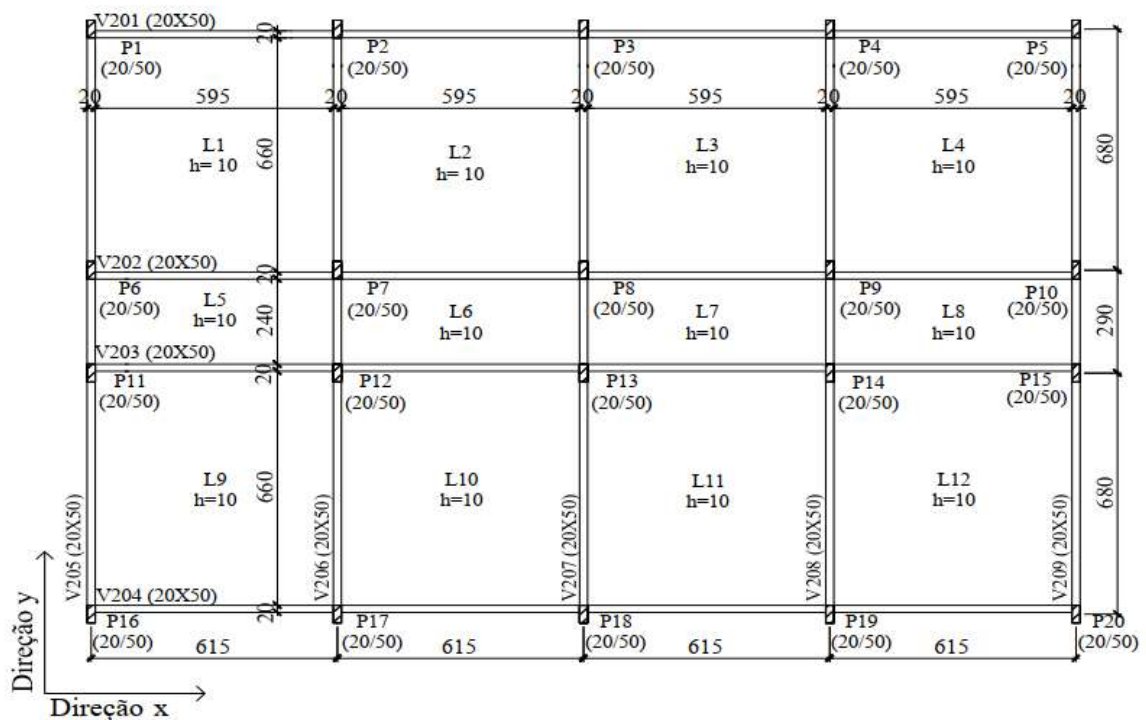
As plantas de forma do projeto de fundação e da superestrutura foram geradas na plataforma do software CAD/TQS®, com o posicionamento das vigas, pilares, lajes e demais elementos importantes para a elaboração e análise dos projetos.

3.2 Planta de forma

A planta de forma é uma das plantas do projeto estrutural e é usada para identificar a geometria do projeto contendo as dimensões dos elementos estruturais como, pilares, vigas, lajes, sapatas, distâncias entre cada um deles e outros elementos que possam ser importantes para leitura e execução de tal projeto.

A Figura 3.3 representa a planta de forma do pavimento tipo do estudo de caso.

Figura 3.3 - Planta de forma - Pavimento tipo (dimensões em centímetros, sem escala)



Fonte: Assis (2018)

3.3 Combinações de carregamento

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023) as combinações das ações devem ser feitas de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura; a verificação da

segurança em relação aos estados-limites últimos e aos estados-limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e de combinações de serviço, respectivamente.

Ainda em conformidade com a NBR 6118 (ABNT, 2023) uma combinação última pode ser classificada como normal, especial ou de construção e excepcional.

A NBR 6118 (ABNT, 2023) diz que nas combinações última normal a ação variável principal e ações permanentes devem ser incluídas, com seus valores característicos e as demais ações variáveis, com seus valores reduzidos de combinação, de acordo com a Equação 3.1.

$$F_d = Y_g.F_{gk} + Y_{Eg}.F_{Egk} + F_{q1exc} + Y_q.\Sigma\Psi_0j.F_{qjk} + Y_{Eq}.\Psi_{0E}.F_{Eqk} \quad \text{Equação 3.1}$$

Nas combinações últimas especiais ou de construção deve ser considerado as ações permanentes e a ação variável especial, quando existir, com seus valores característicos e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível, de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação, conforme especificado em NBR 6118 (ABNT, 2023), de acordo com a Equação 3.2.

$$F_d = Y_g.F_{gk} + Y_{Eg}.F_{Egk} + Y_q.(F_{q1k} + \Sigma\Psi_2j.F_{qjk}) + Y_{Eq}.\Psi_{0E}.F_{Eqk} \quad \text{Equação 3.2}$$

E por fim, nas combinações últimas excepcionais as ações permanentes e a ação variável excepcional, quando existir, com seus valores representativos e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação. Nesse caso se enquadram, entre outras, sismo e incêndio, conforme especificado em NBR 6118 (ABNT, 2023), de acordo com a Equação 3.3.

$$F_d = Y_g.F_{gk} + Y_{Eg}.F_{Egk} + F_{q1exc} + Y_q.\Sigma\Psi_0j.F_{qjk} + Y_{Eq}.\Psi_{0E}.F_{Eqk} \quad \text{Equação 3.3}$$

3.4 Carregamentos

3.4.1 Carregamento Vertical

Ações variáveis variam de acordo com o uso das lajes com valores mínimos indicados, compostas por cargas acidentais que são previstas para a vida útil da edificação, ou durante a fase de construção (Rodrigues, 2019). Já as ações permanentes são aquelas presente na construção durante toda a sua vida útil. Para o estudo de caso foram consideradas as ações verticais combinadas em ações variáveis e permanentes consultadas segundo a NBR 6120

(ABNT, 2019), conforme o uso do pavimento, características do edifício e para cada tipo de elemento estrutural. A tabela a seguir Tabela 3.1 apresenta os carregamentos adotados.

Tabela 3.1– Carregamentos verticais

Elemento	Carga Permanente	Carga acidental
Laje (tipo)	Peso próprio: $\gamma_c = 25 \text{ KN/m}^3$ Revestimento granitina: $0,85 \text{ kN/m}^2$ Revestimento gesso: $12,5 \text{ kN/m}^2$	Escolas – Corredor e salas de aula : 3 kN/m^2
Laje (cobertura)	Peso próprio: $\gamma_c = 25 \text{ KN/m}^3$ Revestimento gesso: $12,5 \text{ kN/m}^2$	Terraço – Sem acesso ao público: 3 kN/m^2
Viga (tipo)	Peso próprio: $\gamma_c = 25 \text{ KN/m}^3$ Alvenaria de tijolo furado: $\gamma_{alv.} = 25 \text{ KN/m}^3$	-
Viga (cobertura)	Peso próprio: $\gamma_c = 25 \text{ KN/m}^3$	-
Pilar	Peso próprio: $\gamma_c = 25 \text{ KN/m}^3$	-

Fonte: Assis (2018)

3.4.2 Carregamento Horizontal

Os carregamentos horizontais considerados serão os provenientes da ação do vento e do desaprumo dos elementos verticais. Para a determinação do carregamento horizontal devido ao vento atuante foi utilizada a NBR 6123 (ABNT, 1988) – Forças devidas ao vento em edificações, que fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações (Assis, 2018). A Tabela 3.2 apresenta os dados que foram utilizados para determinar a carga horizontal de vento.

Tabela 3.2– Dados utilizados no carregamento de vento

Parâmetro	Descrição	Valor utilizado	Especificação
V_0	Velocidade básica do vento	35 m/s	Jataí-Goiás
S_1	Fator topográfico	1,00	Terreno plano ou fracamente acidentado
S_2	Rugosidade do terreno	Categoria III	Terreno plano com obstáculos
	Dimensões da edificação	Classe B	Edificação com a maior dimensão entre 20m e 50m
	$S_2 = b \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p$ $S_2 = 0,94 \cdot 0,98 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,105}$	Por trecho	Calculado para cada altura z do pavimento
S_3	Fator estatístico	1,00	Edifício com alto fator de ocupação

Fonte: Assis (2018)

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), considera-se o carregamento horizontal gerado pelo desaprumo global de elementos verticais. Os dados utilizados para cálculo são apresentados na

Tabela 3.3, considerando a altura total da edificação conforme cada exemplo estudado, o número de prumada de pilares igual a cinco na direção x e igual a quatro na direção y e o valor de θ_{1min} referente a estrutura de nós móveis.

Tabela 3.3 – Dados utilizados para consideração de carregamento horizontal gerado por desaprumo global

Parâmetros	Valores utilizados
θ_1	$\frac{1}{100 \cdot \sqrt{H}}$, sendo H a altura total do edifício conforme cada exemplo
$\theta_{1,min}$	$\frac{1}{300}$ Para estruturas reticuladas e imperfeições locais
$\theta_{1,max}$	$\frac{1}{200}$
θ_a	$\theta_a = \theta_1 \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{n}}{2}}$ Direção x: n=5 Direção y: n=4

Fonte: Assis (2018)

No *software* CAD/TQS® a ação do vento é automaticamente combinada com as demais ações variáveis, tanto no estado limite ultimo quanto no estado limite de serviço.

3.4.3 Combinações de carregamento consideradas no software CAD/TQS®

As combinações consideradas no software CAD/TQS® são definidas para que o estado limite último e o estado de serviço sejam verificados, identificando assim quais combinações serão solicitadas à estrutura para que essas combinações possam ser consideradas. O edifício do estudo de caso foi concebido com as opções de cargas permanentes e sobrecargas, os carregamentos são armazenados de forma separada pelo programa para que seja combinado durante o processamento da estrutura. As combinações pré-estabelecidas no critério de pórtico espacial, para considerações de ELU e ELS, são apresentadas nas tabelas a seguir Tabela 3.4 e Tabela 3.5.

Tabela 3.4 - Resumo de combinações no modelo global

Tipo	Descrição	Nº Combinações
VENTO	Casos de carregamento horizontal	4
ELU1	Verificações de estado limite último - Pilares e Fundações	16

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Tabela 3.5 - Combinações geradas pelo CAD/TQS - Lista de combinações.

Caso	Título Combinação
5	VENTO (1) 90°
6	VENTO (2) 270°
7	VENTO (3) 0°
8	VENTO (4) 180°
15	ELU1 / ACIDCOMB / PP + PERM + ACID + 0.6VENT1
16	ELU1 / ACIDCOMB / PP + PERM + ACID + 0.6VENT2
17	ELU1 / ACIDCOMB / PP + PERM + ACID + 0.6VENT3
18	ELU1 / ACIDCOMB / PP + PERM + ACID + 0.6VENT4
19	ELU1 / ACIDCOMB / PP + PERM + 0.8ACID + VENT1
20	ELU1 / ACIDCOMB / PP + PERM + 0.8ACID + VENT2
21	ELU1 / ACIDCOMB / PP + PERM + 0.8ACID + VENT3
22	ELU1 / ACIDCOMB / PP + PERM + 0.8ACID + VENT4
27	ELU1 / ACIDCOMB / PP_V + PERM_V + ACID_V + 0.6VENT1
28	ELU1 / ACIDCOMB / PP_V + PERM_V + ACID_V + 0.6VENT2
29	ELU1 / ACIDCOMB / PP_V + PERM_V + ACID_V + 0.6VENT3
30	ELU1 / ACIDCOMB / PP_V + PERM_V + ACID_V + 0.6VENT4
31	ELU1 / ACIDCOMB / PP_V + PERM_V + 0.8ACID_V + VENT1
32	ELU1 / ACIDCOMB / PP_V + PERM_V + 0.8ACID_V + VENT2
33	ELU1 / ACIDCOMB / PP_V + PERM_V + 0.8ACID_V + VENT3
34	ELU1 / ACIDCOMB / PP_V + PERM_V + 0.8ACID_V + VENT4

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Nos casos de 5 a 8, o *software* CAD/TQS® leva em consideração somente a força do vento para essas quatro primeiras combinações, que são chamadas de casos simples de vento, não existindo nenhum outro tipo de carregamento nesses casos.

Por isso, só são gerados valores para os parâmetros γ_z e α , visto que o parâmetro FAVt precisa de algum carregamento vertical aplicado para que seus resultados possam ser gerados.

3.5 Considerações de rigidez para avaliação da estabilidade global

Foi utilizado para o cálculo dos parâmetros γ_z e FAVt a redução de rigidez de 0,4EI para vigas e 0,8EI para pilares enquanto que para o cálculo de α a rigidez original foi considerada, não sendo necessário utilizar a mesma redução.

3.6 Dados de cálculo para exemplos

Foram objetos de estudo as seguintes modificações de projeto: número de pavimentos da edificação, disposição dos pilares centrais e existência ou não de laje em balanço, a fim de analisar a instabilidade global. Serão comparados e analisados os resultados dos parâmetros α , γ_z e FAVt, visando obter qual o melhor arranjo estrutural para estabilidade global. Os resultados terão como valores limites de análise, aqueles informados pela NBR 6118 (ABNT, 2023), os quais classificaram a estrutura em nós fixos e nós moveis, informando a necessidade ou não de considerar os efeitos de 2º ordem. Além disso será considerado a utilização do γ_z no processo aproximado para a determinação dos esforços globais de 2ª ordem com o valor limite de γ_z de 1,3 de acordo com o item 15.7.2 da NBR 6118 (ABNT, 2023).

Foram feitas algumas modificações na planta original a fim de obter uma série de exemplos para analisar quais efeitos tais modificações provocariam nos parâmetros de estabilidade global α , γ_z e FAVt, levando em consideração que todos os exemplos são compostos por repetições de pavimentos tipos e coberturas correspondentes.

A seguir estão as características comuns a todos os exemplos:

- Seção das vigas (cm): 20x50;
- Seção dos pilares (cm): 20x50;
- Altura pé direito (m): 3,0;
- Velocidade básica do vento (m/s): $V_o = 35$

A seguir estão as características que variam conforme os exemplos estudados:

- Número de pavimentos;
- Direção dos pilares centrais: 0º e 90º - Pilares P7, P8, P9, P12, P13 e P14;
- Edificação com e sem laje em balanço;

3.6.1 Representação dos exemplos

A identificação de cada exemplo se dará pela nomenclatura apresentada nas figuras 3.4 e 3.5, representada a seguir, com as informações básicas que os compõem indicando o nome do

edifício, o número de pavimentos, a disposição dos pilares original ou modificada e a existência ou não de laje em balanço (B para quando existir balanço). Na Figura 3.4 abaixo está um exemplo de nomenclatura para o edifício 1, 4 pavimentos e disposição original dos pilares centrais, já na Figura 3.5 se refere a um exemplo de nomenclatura para o edifício 1, 4 pavimentos, disposição modificada dos pilares centrais e com estrutura em balanço.

Figura 3.4 - Nomenclatura dos exemplos do estudo de caso com estrutura original

EDIF.1 - 4PAV - ORIG

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Figura 3.5 - Nomenclatura dos exemplos do estudo de caso com estrutura em balanço

EDIF.1 - 4 PAV MOD - B

Fonte: Acervo do Autor (2023)

A Tabela 3.6 a seguir, faz referência a cada um dos modelos que serão estudados descrevendo suas características e modificações a serem realizadas.

Tabela 3.6 – Resumo dos exemplos estudados

Exemplos	Características			
	Nº de pavimentos	Altura total (m)	Laje em Balanço	Direção dos pilares centrais
EDIF.1 - 4PAV - ORIG	4	12	Não	Original
EDIF.1 - 5 a 8PAV - ORIG	5 a 8	24	Não	Original
EDIF.2 - 9 a 14PAV - MOD	9 a 14	42	Não	Modificada
EDIF.3 - 4 a 6PAV - ORIG - B	4 a 6	18	Sim	Original
EDIF.4 - 6 a 12PAV - MOD - B	6 a 12	36	Sim	Modificada

Fonte: Acervo do Autor (2023)

O exemplo EDIF.1 – 4 PAV ORIG é composto por quatro pavimentos e sua disposição original dos pilares. Sua planta de forma dos pavimentos tipos está apresentada na figura 3.3 do item 3.2. A partir desse exemplo será feito uma modificação no número de pavimentos com o objetivo de avaliar o comportamento do γ_z observando o seu limite superior de 1,3. Quando

esse limite for atingido será realizada a modificação na direção dos pilares centrais com o objetivo de reduzir o valor de γ_z comparando com a planta original e na sequência nova modificação no número de pavimentos até que seja atingido novamente o valor limite de γ_z de 1,3. O mesmo procedimento será realizado para a estrutura de 4 pavimentos na posição original dos pilares e com laje em balanço, variando o número de pavimentos até que seja atingido o valor limite de γ_z . Por último, será realizada a modificação dos pilares centrais alterando sua direção, com o objetivo de reduzir o valor de γ_z e em seguida uma nova modificação no número de pavimentos até que se atinja o valor estabelecido por norma.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

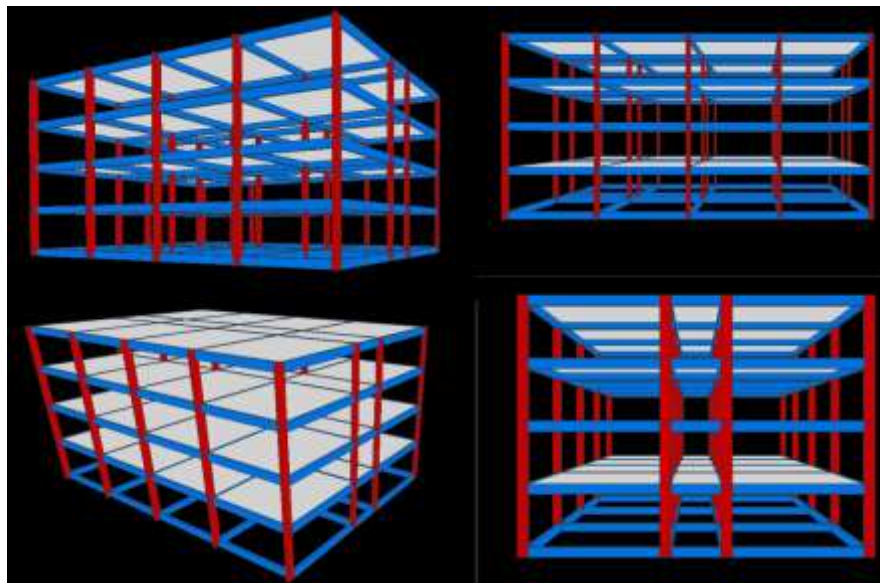
Com essa análise pretende-se verificar o comportamento de alguns parâmetros de instabilidade global em diferentes tipologias de estruturas. A resposta de alguns parâmetros que avaliam a estabilidade global para edificações de múltiplos pavimentos em concreto armado, abordando edifícios de diferentes tipologias.

4.1 EXEMPLO EDIF.1 – 4 PAV ORIG

A seguir serão apresentadas algumas considerações de projetos, usadas para análise da estrutura do edifício do exemplo EDIF.1 – 4 PAV ORIG em questão. Tais modificações foram alteradas no *software* CAD/TQS®, realizando um processamento global a cada modificação realizada. O exemplo EDIF.1 – 4 PAV ORIG é composto por quatro pavimentos e sua disposição original dos pilares. Sua planta de forma dos pavimentos tipos está apresentada na figura 3.3 do item 3.2, e a Figura 4.1 representa as vistas 3D da estrutura. A seguir as configurações para esse exemplo:

- Número de pavimentos: 4;
- Direção dos pilares centrais: 0° e 90° - Original;

Figura 4.1 – Vistas 3D da estrutura



Fonte: Acervo do Autor (2023)

A seguir está a tabela 4.1 que representam os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 90°, a saber, caso 5, 15, 19, 27 e 31.

Tabela 4.1 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° – EDIF.1 – 4 PAV ORIG

EDIF.1 - 4PAV - ORIG	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,027	-	0,306
	15	90°	-	1,027	0,307
	19	90°	-	1,027	0,306
	27	90°	-	1,027	0,307
	31	90°	-	1,027	0,306

Fonte: Acervo do Autor (2023)

A seguir está a tabela 4.2 que representam os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 270°, a saber, caso 6, 16, 20, 28 e 32.

Tabela 4.2 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 270° – EDIF.1 – 4 PAV ORIG

EDIF.1 - 4PAV - ORIG	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	6	270°	1,027	-	0,306
	16	270°	-	1,027	0,305
	20	270°	-	1,027	0,306
	28	270°	-	1,027	0,305
	32	270°	-	1,027	0,306

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Como pode ser observado pelos valores de FAVt e γ_z nas tabelas 4.1 e 4.2, para essa tipologia de edifício, e para esse mesmo número de pavimentos, os valores desses dois parâmetros permaneceram idênticos, não diferenciando os valores deles para vento a 90° ou vento a 270° visto que a edificação possui dois eixos de simetria.

Vale ressaltar que isso só diz respeito ao valor do parâmetro, e não a respeito dos valores dos deslocamentos, visto que esses podem ou não sofrerem alteração de acordo com cada coordenada dos ventos.

A seguir está a tabela 4.3 que representam os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 0°, a saber, caso 7, 17, 21, 29 e 33.

Tabela 4.3 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0° – EDIF.1 – 4 PAV ORIG

EDIF.1 - 4PAV - ORIG	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	7	0°	1,117	-	0,648
	17	0°	-	1,117	0,648
	21	0°	-	1,117	0,648
	29	0°	-	1,117	0,648
	33	0°	-	1,117	0,648

Fonte: Acervo do Autor (2023)

A seguir está a tabela 4.4 que representam os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 180°, a saber, caso 7, 17, 21, 29 e 33.

Tabela 4.4 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 180° – EDIF.1 – 4 PAV ORIG

EDIF.1 - 4PAV - ORIG	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	8	180°	1,117	-	0,648
	18	180°	-	1,117	0,648
	22	180°	-	1,117	0,648
	30	180°	-	1,117	0,648
	34	180°	-	1,117	0,648

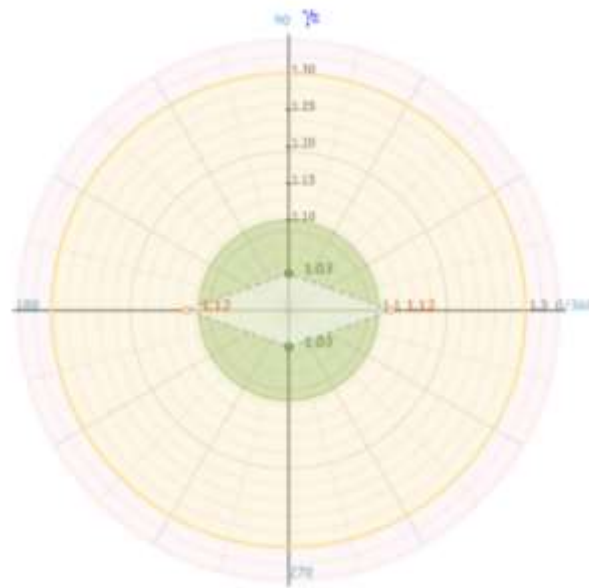
Fonte: Acervo do Autor (2023)

Da mesma forma que aconteceu com os ventos anteriores, é possível notar pelas tabelas 4.3 e 4.4 que os ventos que coincidem a 0° e a 180°, para essa tipologia de edifício, e para esse mesmo número de pavimentos, possuem valores idênticos, não diferenciando os valores deles para vento a 0° ou vento a 180° visto que a edificação possui dois eixos de simetria.

Pode se observar que nos casos de vento a 0° e 180° o valor do parâmetro alfa já passou do seu limite de 0,5 classificando já a estrutura como sendo de nós móveis. Ainda foram mantidas as simulações com essa disposição original porque o objetivo era avaliar os valores de FAVt e γ_z .

Nas Figura 4.2 e Figura 4.3 abaixo, representam um diagrama com os valores dos parâmetros γ_z e FAVt coincidindo com a ação do vento a 0°, 90°, 180° e 270°

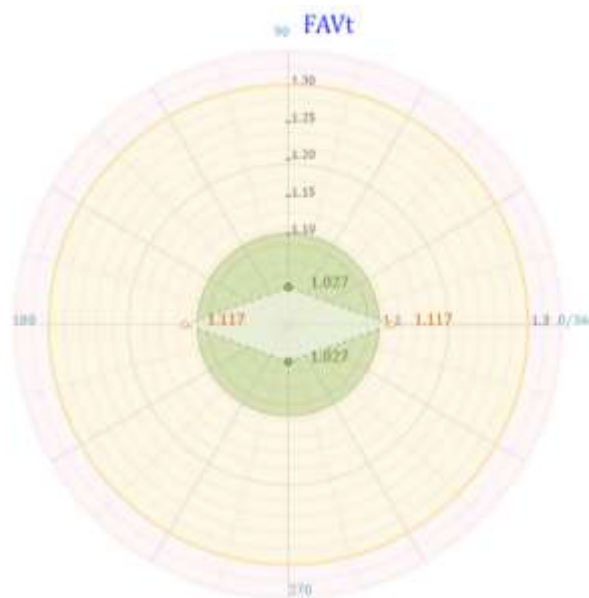
Figura 4.2 – Diagrama do parâmetro γ_z (GammaZ)



Fonte: Acervo do Autor (2023)

Pelo diagrama da Figura 4.2 é possível concluir que o parâmetro γ_z está variando o seu valor entre 1.03 a 1.12 na modificação original, e a estrutura é de nós móveis para todas as direções de vento.

Figura 4.3 – Diagrama do parâmetro FAVt



Fonte: Acervo do Autor (2023)

Já no diagrama da Figura 4.3 é possível concluir que o parâmetro FAVt está variando o seu valor entre 1.027 a 1.117 na modificação original. Ou seja, para essa situação os valores de γ_z e FAVt são idênticos, concluindo também que a estrutura é de nós móveis.

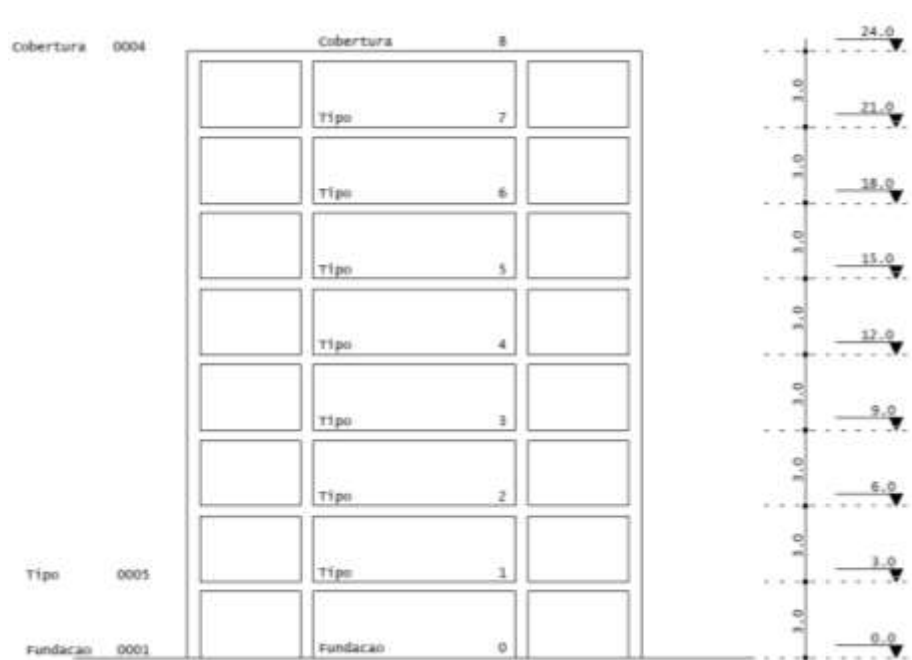
4.1.1 Variação do Número de Pavimentos

Para o edifício original EDIF.1 – 4 PAV ORIG será feita uma alteração na altura total, com o objetivo de definir a quantidade de pavimentos que esse arranjo original ainda poderia utilizar o processo aproximado do γ_z para consideração dos efeitos de 2ª ordem. Os testes foram feitos de cinco pavimentos até o oitavo pavimento, onde a estrutura passou do limite de γ_z de 1,3 definido pela NBR 6118 (ABNT, 2023) para aplicação do processo aproximado.

Esta série de exemplos é composta por simulações que variam de cinco a oito pavimentos e sua disposição original dos pilares. Sua planta de forma dos pavimentos tipos está apresentada na figura 3.3 do item 3.2. O corte esquemático da estrutura com oito pavimentos é apresentado na Figura 4.4. A seguir as configurações para esse exemplo:

- Número de pavimentos: 5 a 8;
- Direção dos pilares centrais: 0° e 90° - Original;

Figura 4.4 – Corte esquemático do edifício



Fonte: Acervo do Autor (2023)

Será apresentado a seguir a Tabela 4.5, correspondente à variação de cinco pavimentos, que representa os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 90° e a 0°. Já que a estrutura possui dois eixos de simetria e os valores para os ventos de 0° e 180° são idênticos, assim como os valores para os ventos de 90° e 270°, por isso será analisado os ventos a 90° e a 0°. Os casos analisados serão os de número 5, 15, 19, 27 e 31, para o vento a 90°; e os de número 7, 17, 21, 29 e 33, para o vento a 0°.

Tabela 4.5 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.1 – 5 PAV ORIG

EDIF.1 - 5PAV - ORIG	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,037	-	0,350
	15	90°	-	1,037	0,350
	19	90°	-	1,037	0,350
	27	90°	-	1,037	0,350
	31	90°	-	1,037	0,350
	7	0°	1,156	-	0,733
	17	0°	-	1,156	0,733
	21	0°	-	1,156	0,733
	29	0°	-	1,156	0,733
	33	0°	-	1,156	0,733

Fonte: Acervo do Autor (2023)

A partir de 5 pavimentos para o vento a 0° essa estrutura já é classificada como nós móveis pelos três parâmetros.

A seguir a tabela 4.6, correspondente à variação que contém seis pavimentos, que representa os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 90° e a 0°.

Tabela 4.6 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.1 – 6 PAV ORIG

EDIF.1 - 6PAV - ORIG	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,047	-	0,389
	15	90°	-	1,047	0,389
	19	90°	-	1,047	0,389
	27	90°	-	1,047	0,389
	31	90°	-	1,047	0,389
	7	0°	1,199	-	0,809
	17	0°	-	1,199	0,809
	21	0°	-	1,199	0,809
	29	0°	-	1,199	0,809
	33	0°	-	1,199	0,809

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Com 6 pavimentos para o vento a 0° essa estrutura é classificada como nós móveis pelos três parâmetros.

A seguir a tabela 4.7, correspondente à variação que contém sete pavimentos, que representam os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 90° e a 0°.

Tabela 4.7 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.1 – 7 PAV ORIG

EDIF.1 - 7PAV - ORIG	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,057	-	0,426
	15	90°	-	1,057	0,426
	19	90°	-	1,057	0,426
	27	90°	-	1,057	0,426
	31	90°	-	1,057	0,426
	7	0°	1,246	-	0,880
	17	0°	-	1,246	0,880
	21	0°	-	1,246	0,880
	29	0°	-	1,246	0,880
	33	0°	-	1,246	0,880

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Com sete pavimentos é possível observar que o valor de γ_z para o vento a 0° está próximo ao seu limite de 1,3 para manter uma estrutura estável. E o valor de alfa encontra-se próximo do limite de 0,5, visto que a estrutura é composta só por pórticos. Os valores de FAVt e γ_z permanecem idênticos para os casos analisados, não tendo distinção entre si.

A seguir a tabela 4.8, correspondente à variação que contém oito pavimentos, que representa os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 90° e a 0°.

Tabela 4.8 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.1 – 8 PAV ORIG

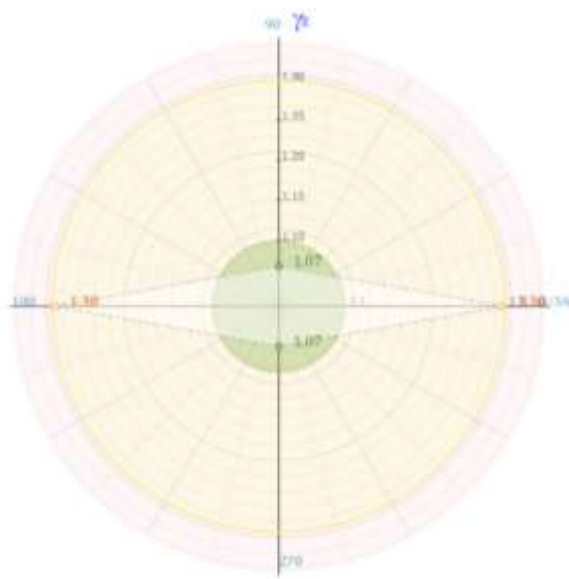
EDIF.1 - 8PAV - ORIG	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,068	-	0,460
	15	90°	-	1,068	0,460
	19	90°	-	1,068	0,460
	27	90°	-	1,068	0,460
	31	90°	-	1,068	0,460
	7	0°	1,296	-	0,945
	17	0°	-	1,296	0,945
	21	0°	-	1,296	0,945
	29	0°	-	1,296	0,945
	33	0°	-	1,296	0,945

Fonte: Acervo do Autor (2023)

De acordo com a tabela 4.8 é possível notar que com oito pavimentos os valores de FAVt e γ_z para o vento a 0° atingiu 1.296, chegando muito próximo de 1.3. Esse valor de 1.296 apesar de estar antes de 1.3, não é um valor para se trabalhar com segurança, logo, não é um valor praticável para uma estrutura real, sendo necessários ajustes no arranjo estrutural da mesma com o intuito de diminuir esse valor.

Nas Figura 4.5 e Figura 4.6 abaixo, representam um diagrama com os valores dos parâmetros γ_z e FAVt coincidindo com a ação do vento a 0°, 90°, 180° e 270°.

Figura 4.5 – Diagrama do parâmetro γ_z



Foi realizado o processamento do edifício com nove pavimentos chegando ao valor de γ_z de 1.351 como é apresentado na Tabela 4.9 a seguir e por essa razão, foi o motivo para uma nova série de exemplos modificando a configuração dos pilares centrais com o objetivo de reduzir os parâmetros de instabilidade, promovendo uma melhor distribuição da rigidez da estrutura.

A seguir as tabelas 4.9, correspondente à variação que contêm nove pavimentos, que representa os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 90° e a 0°.

Tabela 4.9 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.1 – 9 PAV ORIG

EDIF.1 - 9PAV - ORIG	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,079	-	0,493
	15	90°	-	1,079	0,493
	19	90°	-	1,079	0,493
	27	90°	-	1,079	0,493
	31	90°	-	1,079	0,493
	7	0°	1,351	-	1,006
	17	0°	-	1,351	1,006
	21	0°	-	1,351	1,006
	29	0°	-	1,351	1,006
	33	0°	-	1,351	1,006

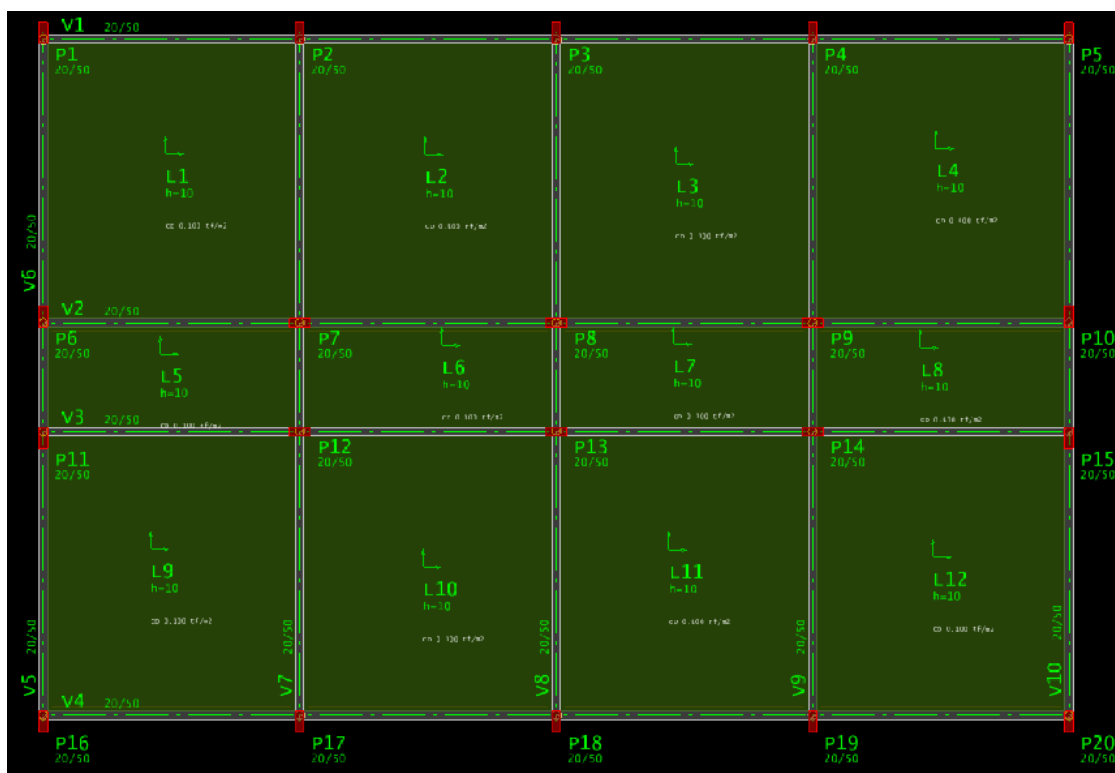
Fonte: Acervo do Autor (2023)

4.2 EXEMPLO EDIF.2 – 9 PAV MOD

Para esta segunda série de exemplos o objetivo proposto foi de modificar a posição dos pilares centrais, rotacionando os mesmos, sem alterar suas dimensões, da mesma maneira como foi feito nos trabalhos anteriores de Assis (2018) e Rodrigues (2019), a fim de se obter uma estrutura mais rígida e reduzir os valores dos parâmetros de instabilidade global com esse novo arranjo estrutural. Não foi considerado o dimensionamento da estrutura durante a avaliação da estabilidade global. A planta de forma com essa modificação é apresentada na Figura 4.7 a seguir:

- Número de pavimentos avaliados: a partir de 9;
- Direção dos pilares centrais: 0° e 90° - Modificado - Pilares P7, P8, P9, P12, P13 e P14;

Figura 4.7 – Planta de forma com pilares centrais modificados



Fonte: Acervo do Autor (2023)

O segundo exemplo EDIF.2 – 9 PAV MOD é composto por simulações que variam de nove a quatorze pavimentos e sua disposição dos pilares centrais modificada. Os testes foram feitos de nove pavimentos até o quatorze pavimento, onde a estrutura passou do limite de γ_z de 1,3 definido pela NBR 6118 (ABNT, 2023) para aplicação do processo aproximado.

A seguir a tabela 4.10 corresponde à variação que contém nove pavimentos, que representa os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 90° e a 0°.

Tabela 4.10 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 9 PAV MOD

9 PAV - MOD	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,122	-	0,597
	15, 19, 27, 31	90°	-	1,122	0,597
	7	0°	1,158	-	0,703
	17, 21, 29, 33	0°	-	1,158	0,703

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Como é possível notar na tabela 4.10, o valor de γ_z para o vento a 0° foi reduzido de 1.351 (Tabela 4.9) para 1.158 com essa alteração na posição dos pilares centrais, acarretando em uma redução significativa de 14,3% para o valor de γ_z . Para o vento a 90° quando comparado com o exemplo anterior, o valor de γ_z teve um aumento passando do valor de 1.079 (Tabela 4.9) para 1.122, visto que com a mudança da direção dos pilares, houve uma redistribuição da rigidez e teve um aumento 4,0% do valor de γ_z para o vento a 90° .

Foram feitos os testes do nono pavimento até o de número quatorze, onde atingiu o valor máximo de 1,3 de γ_z para aplicar o processo aproximado. A seguir são apresentadas as tabelas 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15 correspondes às variações de pavimentos que vão do décimo até ao quatorze, que representa os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 90° e a 0° .

Tabela 4.11 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 10 PAV MOD

10 PAV - MOD	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,141	-	0,635
	15, 19, 27, 31	90°	-	1,141	0,635
	7	0°	1,182	-	0,744
	17, 21, 29, 33	0°	-	1,182	0,744

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Tabela 4.12 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 11 PAV MOD

11 PAV - MOD	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,160	-	0,671
	15, 19, 27, 31	90°	-	1,160	0,671
	7	0°	1,207	-	0,784
	17, 21, 29, 33	0°	-	1,207	0,784

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Tabela 4.13 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 12 PAV MOD

12 PAV - MOD	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,181	-	0,707
	15, 19, 27, 31	90°	-	1,181	0,707
	7	0°	1,233	-	0,822
	17, 21, 29, 33	0°	-	1,233	0,822

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Tabela 4.14 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 13 PAV MOD

13 PAV - MOD	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,203	-	0,741
	15, 19, 27, 31	90°	-	1,203	0,741
	7	0°	1,260	-	0,859
	17, 21, 29, 33	0°	-	1,260	0,859

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Tabela 4.15 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 14 PAV MOD

14 PAV - MOD	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,225	-	0,775
	15, 19, 27, 31	90°	-	1,225	0,775
	7	0°	1,288	-	0,894
	17, 21, 29, 33	0°	-	1,288	0,894

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Observando as tabelas 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15 é possível concluir que o coeficiente γ_z teve um crescimento progressivo a cada pavimento adicionado na estrutura. Vale ressaltar que para o vento a 0° ele possui um crescimento mais expressivo, chegando ao valor de 1.288 próximo a 1,3, pois essa é direção de menor rigidez da estrutura, por isso, ela se torna mais deslocável horizontalmente nessa direção. Já para o vento a 90°, onde o valor de γ_z é de 1.225, incide sobre uma rigidez maior nessa direção, sendo ainda possível utilizar o processo aproximado de γ_z nos cálculos da estrutura.

Foi realizado o processamento do edifício com quinze pavimentos chegando ao valor de γ_z de 1.318 como é apresentado a seguir na tabela 4.16 atingindo o valor limite de 1,3 de γ_z de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023).

A seguir a tabela 4.16, correspondente à variação que contém quinze pavimentos, que representa os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 90° e a 0°.

Tabela 4.16 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 90° e 0° – EDIF.2 – 15 PAV MOD

15 PAV - MOD	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,249	-	0,807
	15, 19, 27, 31	90°	-	1,249	0,807
	7	0°	1,318	-	0,929
	17, 21, 29, 33	0°	-	1,318	0,929

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Por essa razão, foi o motivo para uma nova série de exemplos modificando a estrutura com a adição de uma laje em balanço para tornar a mesma assimétrica com o objetivo de observar o comportamento dos parâmetros α , γ_z e FAVt, diante de uma estrutura com uma tipologia diferente dos exemplos anteriores.

Até agora, os valores dos parâmetros γ_z e FAVt, a depender da direção do vento, estão se comportando idênticos, pois a estrutura possui dois eixos de simetria, por isso será analisado uma estrutura assimétrica para observar o comportamento da mesma.

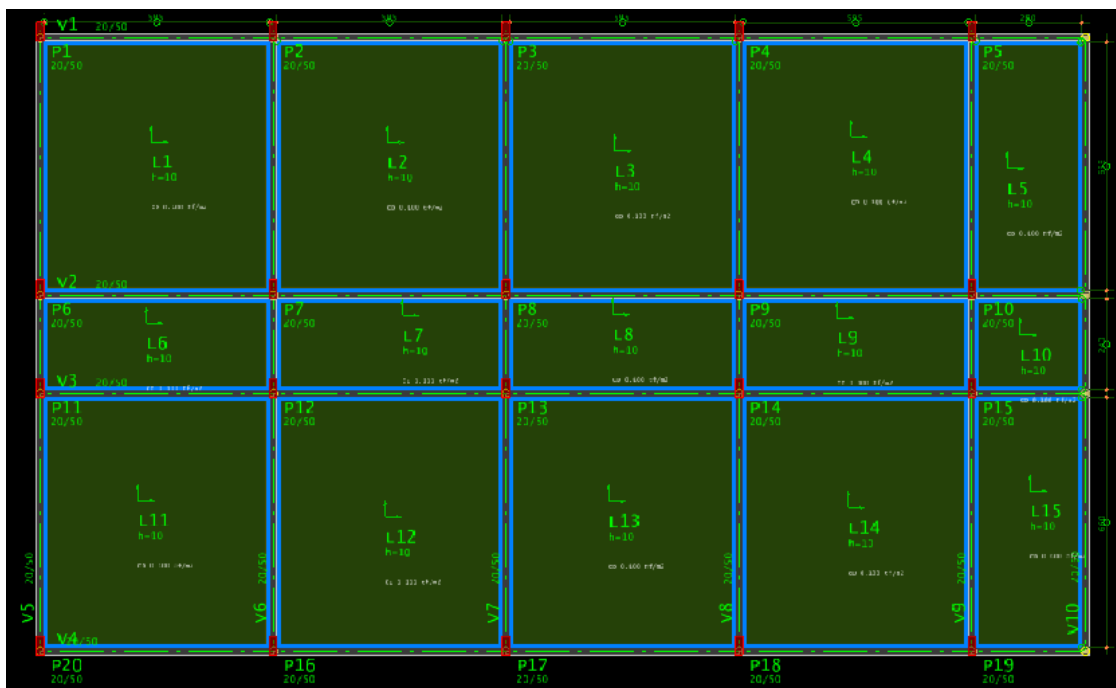
4.3 EXEMPLO EDIF.3 – 4 PAV ORIG - B

Para o exemplo de número 3 foi alterada a planta original da edificação, adicionando uma estrutura com laje em balanço, a fim de estudar uma estrutura assimétrica para analisar os o comportamento dos parâmetros. Tais modificações foram alteradas no *software* CAD/TQS®, realizando um processamento global a cada modificação realizada. O exemplo EDIF.3 – 4 PAV ORIG - B é composto por quatro pavimentos, sua disposição original dos pilares e uma laje em balanço.

Esta série de exemplos é composta por simulações que variam de quatro a seis pavimentos e sua disposição original dos pilares. O número de pavimentos foi analisado e restringido até o valor limite de 1,3 de γ_z de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), ou seja, até o 6 pavimento. A planta de forma alterada é apresentada na Figura 4.8 abaixo:

- Número de pavimentos: 4 a 6;
- Direção dos pilares centrais: 0° e 90° - Original
- Estrutura com laje em balanço;

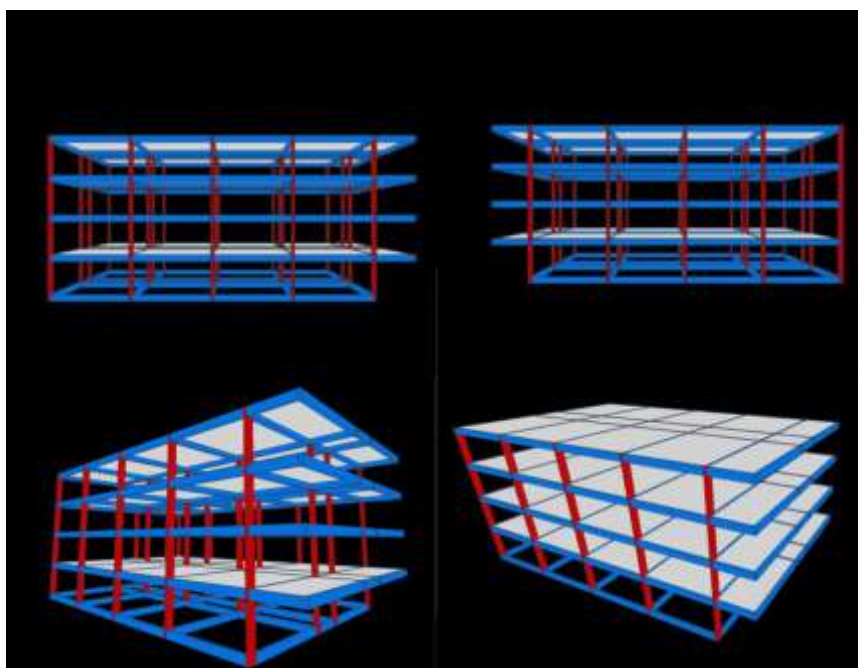
Figura 4.8 – Planta de forma do pavimento tipo com laje em balanço



Fonte: Acervo do Autor (2023)

A seguir a Figura 4.9 apresenta 4 vistas da estrutura com laje em balanço para uma melhor visualização:

Figura 4.9 – Vistas 3D da estrutura



Fonte: Acervo do Autor (2023)

Como a estrutura agora é uma estrutura assimétrica, será apresentado os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 0°, 90°, 180° e 270°, que têm valores diferentes para as quatro direções.

A seguir as tabelas 4.17 correspondem às variações que contêm quatro e cinco pavimentos, que representam os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 0°, 90°, 180° e 270°.

Tabela 4.17 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.3 – 4 PAV ORIG - B

EDIF.3 - 4 PAV - ORIG - B	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,034	-	0,335
	15, 27	90°	-	1,034	0,301
	19, 31	90°	-	1,034	0,315
	7	0°	1,153	-	0,719
	17, 29	0°	-	1,207	0,796
	21, 33	0°	-	1,185	0,766
	6	270°	1,034	-	0,335
	16, 28	270°	-	1,039	0,366
	20, 32	270°	-	1,037	0,354
	8	180°	1,153	-	0,719
	18, 30	180°	-	1,153	0,633
	22, 34	180°	-	1,153	0,668

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Tabela 4.18 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.3 – 6 PAV ORIG – B

EDIF.3 - 5 PAV - ORIG - B	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,045	-	0,382
	15, 27	90°	-	1,045	0,353
	19, 31	90°	-	1,045	0,364
	7	0°	1,204	-	0,811
	17, 29	0°	-	1,263	0,882
	21, 33	0°	-	1,240	0,854

	6	270°	1,045	-	0,382
	16, 28	270°	-	1,050	0,409
	20, 32	270°	-	1,048	0,398
	8	180°	1,204	-	0,811
	18, 30	180°	-	1,204	0,734
	22, 34	180°	-	1,204	0,766

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Foi realizado o processamento do edifício com seis pavimentos chegando ao valor de γ_z de 1.327 para o vento a 0° como é apresentado a seguir na tabela 4.19 atingindo o valor limite de 1,3 de γ_z de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023).

A seguir a tabela 4.19, correspondente à variação que contém seis pavimentos, que representa os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 0°, 90°, 180° e 270°.

Tabela 4.19 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.3 – 6 PAV ORIG – B

EDIF.3 - 6 PAV - ORIG - B	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,057	-	0,424
	15, 27	90°	-	1,057	0,399
	19, 31	90°	-	1,057	0,409
	7	0°	1,261	-	0,894
	17, 29	0°	-	1,327	0,956
	21, 33	0°	-	1,299	0,934
	6	270°	1,057	-	0,424
	16, 28	270°	-	1,062	0,448
	20, 32	270°	-	1,060	0,439
	8	180°	1,261	-	0,894
	18, 30	180°	-	1,261	0,824
	22, 34	180°	-	1,261	0,853

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Analisando as tabelas 4.17, 4.18 e 4.19 pode-se concluir que com a estrutura em balanço e os pilares centrais na posição original, os valores de γ_z aumentaram de forma mais acelerada se

comparada com a estrutura original e a estrutura atingiu o valor limite de γ_z com apenas 6 pavimentos para o vento a 0° , atingindo 3 pavimentos a menos do que com a estrutura original.

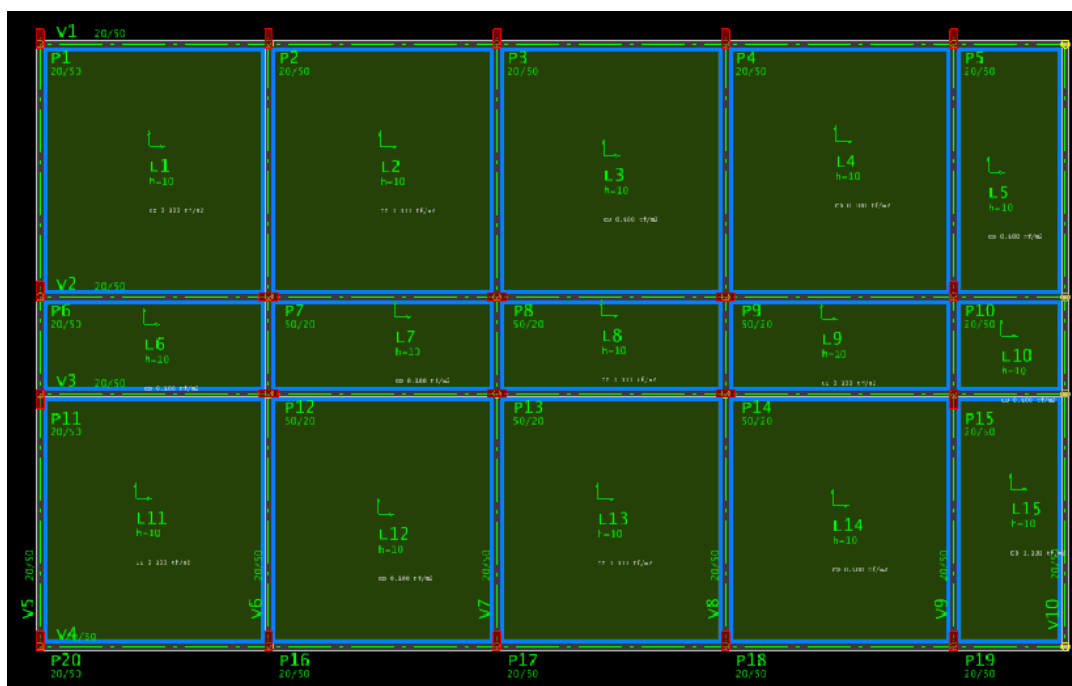
Vale ressaltar também que em todas as variações de pavimentos a estrutura foi classificada em nós móveis, com valores de γ_z maior ou igual a 1,1 estabelecidos pela norma NBR 6118 (ABNT, 2023). Sendo assim, tornando necessário a utilização do processo aproximado de γ_z ser incluso no dimensionamento.

4.4 EXEMPLO EDIF.4 – 6 PAV MOD - B

O objetivo dessa última série de exemplos foi alterar a posição dos pilares centrais e processar a estrutura para conhecer a altura máxima que a mesma poderia alcançar mantendo esse arranjo estrutural. O exemplo EDIF.4 – 6 PAV MOD - B é composto por seis pavimentos, sua disposição dos pilares modificada e uma laje em balanço. Esta série de exemplos é composta por simulações que variam de seis a doze pavimentos e sua disposição modificada dos pilares. O número de pavimentos foi analisado e restringido até o valor limite de 1,3 de γ_z de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), ou seja, até o 12º pavimento. Tais modificações foram alteradas no *software* CAD/TQS®, realizando um processamento global a cada modificação realizada. A planta de forma com essa modificação é apresentada na Figura 4.10 a seguir:

- Número de pavimentos: a partir de 6;
- Direção dos pilares centrais: 0° e 90° - Modificado - Pilares P7, P8, P9, P12, P13 e P14;
- Estrutura com laje em balanço;

Figura 4.10 – Planta de forma do pavimento tipo com laje em balanço e pilares centrais modificados



Fonte: Acervo do Autor (2023)

Como a estrutura do exemplo anterior foi apenas até cinco pavimentos, pois já no sexto pavimento o parâmetro γ_z atingiu o seu valor limite, foi retomado esse exemplo a partir do sexto pavimento.

A seguir a tabela 4.20, correspondente à variação que contém seis pavimentos, que representa os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 0° , 90° , 180° e 270° .

Tabela 4.20 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0° , 90° , 180° e 270° – EDIF.4 – 6 PAV MOD - B

EDIF.4 - 6 PAV - MOD - B	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,085	-	0,511
	15, 27	90°	-	1,085	0,493
	19, 31	90°	-	1,085	0,500
	7	0°	1,117	-	0,605
	17, 29	0°	-	1,136	0,634
	21, 33	0°	-	1,128	0,622
	6	270°	1,085	-	0,511
	16, 28	270°	-	1,092	0,528
	20, 32	270°	-	1,090	0,521

	8	180°	1,117	-	0,605
	18, 30	180°	-	1,117	0,575
	22, 34	180°	-	1,117	0,587

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Como é possível notar na tabela 4.20, o valor de γ_z para o vento a 0° foi reduzido para de 1.327 (Tabela 4.19) para 1.136 com essa alteração na posição dos pilares centrais, acarretando em uma redução significativa de 14,4% para o valor de γ_z . Para o vento a 90° quando comparado com o exemplo anterior (Tabela 4.19), o valor de γ_z teve um aumento passando do valor de 1.057 (Tabela 4.19) para 1.085, visto que com a mudança da direção dos pilares, houve uma redistribuição da rigidez e teve um aumento 2.6% do valor de γ_z para o vento a 90°.

Foram feitos os testes do sexto pavimento até o de número doze, onde atingiu o valor máximo de 1,3 de γ_z para aplicar o processo aproximado. A seguir serão apresentadas as tabelas 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 e 4.25 que correspondem às variações que contêm de sete a onze pavimentos, que representam os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 0°, 90°, 180° e 270°.

Tabela 4.21 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 7 PAV MOD - B

EDIF.4 - 7 PAV - MOD - B	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,105	-	0,558
	15, 27	90°	-	1,105	0,541
	19, 31	90°	-	1,105	0,548
	7	0°	1,142	-	0,658
	17, 29	0°	-	1,162	0,686
	21, 33	0°	-	1,154	0,675
	6	270°	1,105	-	0,558
	16, 28	270°	-	1,112	0,574
	20, 32	270°	-	1,109	0,568
	8	180°	1,142	-	0,658
	18, 30	180°	-	1,142	0,629
	22, 34	180°	-	1,142	0,640

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Tabela 4.22 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 8 PAV MOD - B

EDIF.4 - 8 PAV - MOD - B	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,125	-	0,602
	15, 27	90°	-	1,125	0,587
	19, 31	90°	-	1,125	0,593
	7	0°	1,169	-	0,707
	17, 29	0°	-	1,190	0,734
	21, 33	0°	-	1,181	0,723
	6	270°	1,125	-	0,602
	16, 28	270°	-	1,130	0,617
	20, 32	270°	-	1,128	0,611
	8	180°	1,169	-	0,707
	18, 30	180°	-	1,169	0,679
	22, 34	180°	-	1,169	0,690

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Tabela 4.23 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 9 PAV MOD – B

EDIF.4 - 9 PAV - MOD - B	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,146	-	0,644
	15, 27	90°	-	1,146	0,630
	19, 31	90°	-	1,146	0,636
	7	0°	1,197	-	0,753
	17, 29	0°	-	1,219	0,780
	21, 33	0°	-	1,210	0,769
	6	270°	1,146	-	0,644
	16, 28	270°	-	1,152	0,658
	20, 32	270°	-	1,149	0,653
	8	180°	1,197	-	0,753
	18, 30	180°	-	1,197	0,725
	22, 34	180°	-	1,197	0,736

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Tabela 4.24 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 10 PAV MOD – B

EDIF.4 - 10 PAV - MOD - B	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,168	-	0,685
	15, 27	90°	-	1,168	0,671
	19, 31	90°	-	1,168	0,677
	7	0°	1,226	-	0,797
	17, 29	0°	-	1,250	0,824
	21, 33	0°	-	1,241	0,813
	6	270°	1,168	-	0,685
	16, 28	270°	-	1,174	0,698
	20, 32	270°	-	1,172	0,692
	8	180°	1,226	-	0,797
	18, 30	180°	-	1,226	0,769
	22, 34	180°	-	1,226	0,780

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Tabela 4.25 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0°, 90°, 180° e 270° – EDIF.4 – 11 PAV MOD – B

EDIF.4 - 11 PAV - MOD - B	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90°	1,192	-	0,723
	15, 27	90°	-	1,192	0,711
	19, 31	90°	-	1,192	0,716
	7	0°	1,257	-	0,839
	17, 29	0°	-	1,281	0,865
	21, 33	0°	-	1,273	0,855
	6	270°	1,192	-	0,723
	16, 28	270°	-	1,198	0,736
	20, 32	270°	-	1,195	0,731
	8	180°	1,257	-	0,839
	18, 30	180°	-	1,257	0,811
	22, 34	180°	-	1,257	0,822

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Analisando as tabelas 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 e 4.25 pode-se concluir que com a estrutura em balanço e os pilares centrais na posição modificada, os valores de γ_z aumentaram mais

desacelerado do que com a estrutura na posição original e a estrutura foi do 6º pavimento até o 11º pavimento com um crescimento progressivo. O valor limite de γ_z só foi atingido no 12º pavimento, que será apresentado na tabela 4.26 a seguir, para o vento a 0º, atingindo 6 pavimentos a mais do que com a estrutura original.

A edificação com 6 pavimentos pode ser classificada como uma estrutura de nós fixos para os ventos a 90º e 270º, podendo assim ser desprezado os efeitos de 2ª ordem, não sendo necessários serem tomados no dimensionamento. À partir de sete pavimentos a estrutura foi classificada em nós móveis, com valores de γ_z maior ou igual a 1,1 estabelecidos por norma NBR 6118 (ABNT, 2023). Sendo assim, tornando necessário a utilização do processo aproximado de γ_z ser incluso no dimensionamento.

Foi realizado o processamento do edifício com doze pavimentos chegando ao valor de γ_z de 1.318 como é apresentado a seguir na tabela 4.26 atingindo o valor limite de 1,3 de γ_z de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023).

A seguir a tabela 4.26, correspondente à variação que contém doze pavimentos, que representa os valores dos parâmetros de instabilidade global para os casos em que o vento está a 0º, 90º, 180º e 270º.

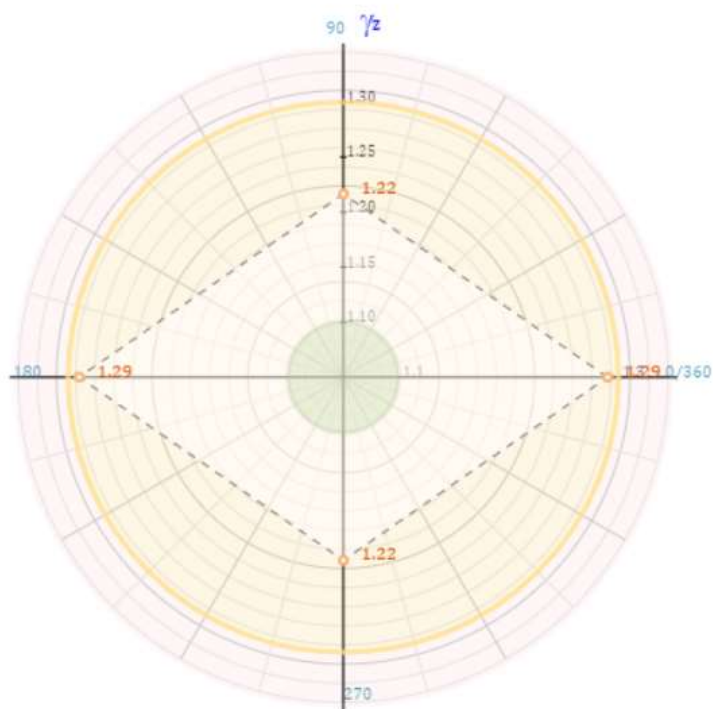
Tabela 4.26 - Valores dos Parâmetros α , γ_z e FAVt – Vento 0º, 90º, 180º e 270º – EDIF.4 – 12 PAV MOD – B

EDIF.4 - 12 PAV - MOD - B	Caso	Direção do Vento	GammaZ	FAVt	Alfa
	5	90º	1,216	-	0,761
	15, 27	90º	-	1,216	0,749
	19, 31	90º	-	1,216	0,754
	7	0º	1,290	-	0,879
	17, 29	0º	-	1,318	0,906
	21, 33	0º	-	1,307	0,895
	6	270º	1,216	-	0,761
	16, 28	270º	-	1,223	0,772
	20, 32	270º	-	1,220	0,768
	8	180º	1,290	-	0,879
	18, 30	180º	-	1,290	0,851
	22, 34	180º	-	1,290	0,862

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Nas Figura 4.11 e Figura 4.12 abaixo, representam um diagrama com os valores dos parâmetros γ_z e FAVt coincidindo com a ação do vento a 0° , 90° , 180° e 270° .

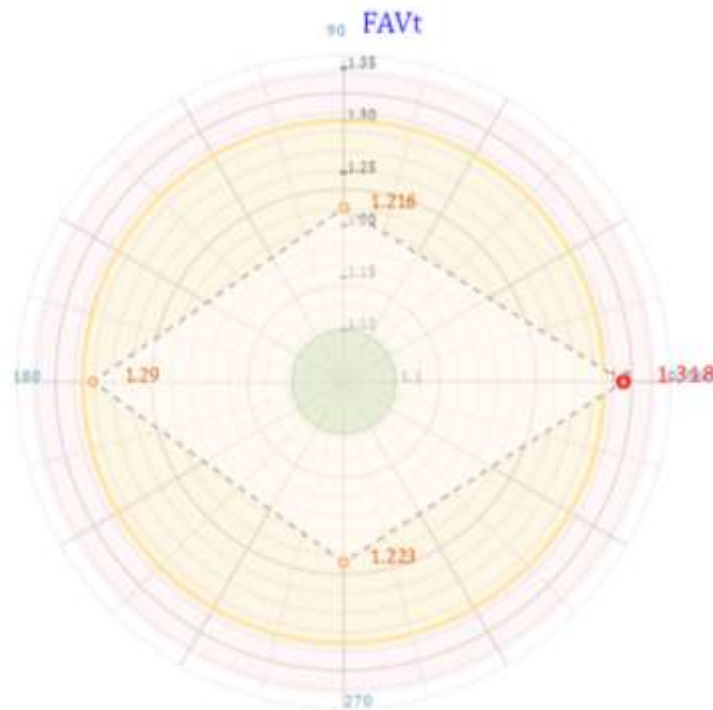
Figura 4.11 – Diagrama do parâmetro γ_z



Fonte: Acervo do Autor (2023)

Pelo diagrama da Figura 4.11 é possível concluir que o parâmetro γ_z está variando o seu valor entre 1.22 a 1.29 com a posição dos pilares modificadas, e a estrutura é de nós fixos para todas as direções de vento.

Figura 4.12 – Diagrama do parâmetro FAVt



Fonte: Acervo do Autor (2023)

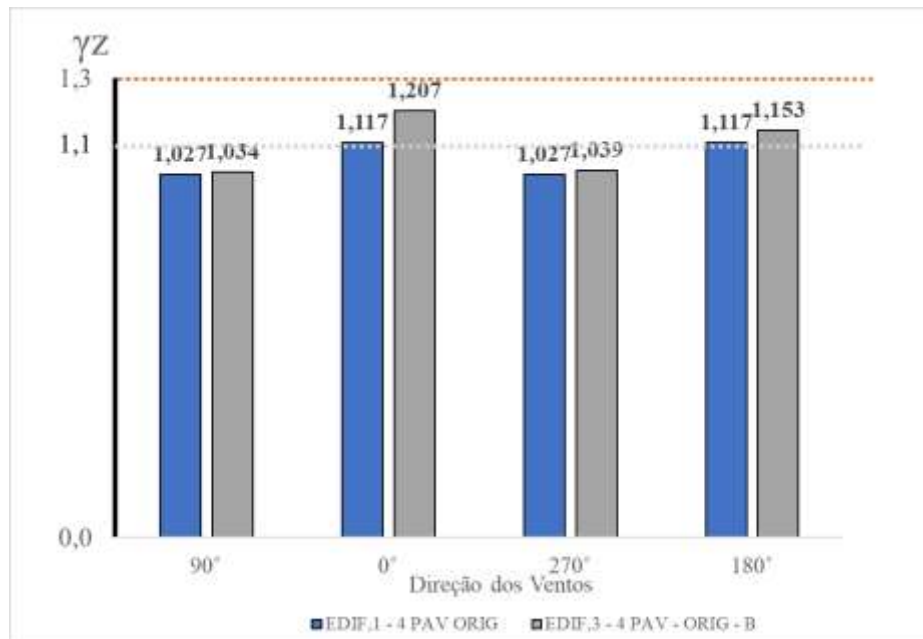
Já no diagrama da Figura 4.12 é possível concluir que o parâmetro FAVt está variando o seu valor entre 1.29 a 1.318. Como a estrutura é assimétrica, os valores de γ_z e FAVt são diferentes entre si para o vento a 0°.

4.5 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

4.5.1 Edificações de Quatro Pavimentos

A Figura 4.13 a seguir representa os valores de γ_z para as edificações com quatro pavimentos:

Figura 4.13 – Comparação de valores de γ_z - quatro pavimentos



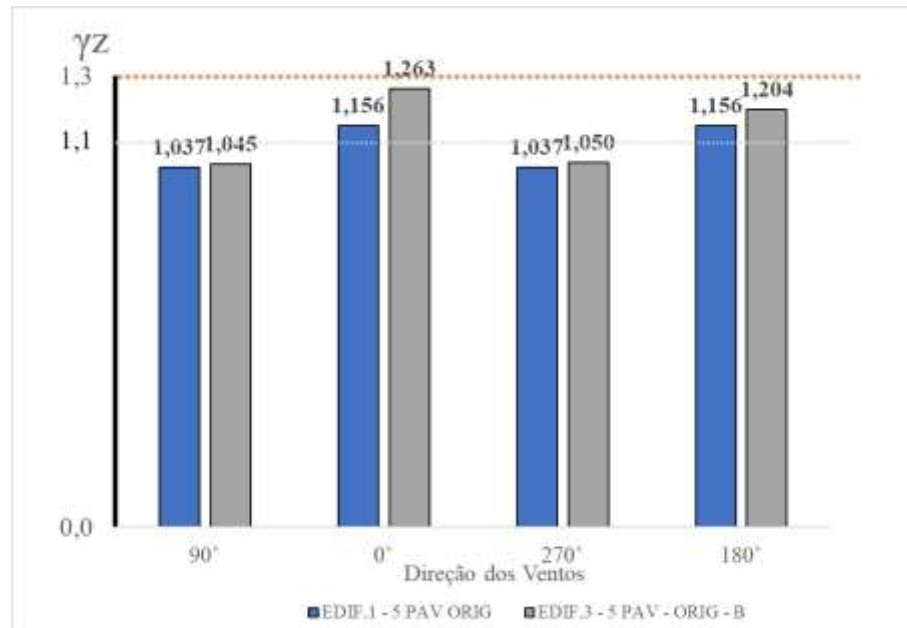
Fonte: Acervo do Autor (2023)

Nota-se que a diferença mais nítida ocorreu na direção do vento a 0°, com o valor de γ_z mais alto para a edificação com laje em balanço, obtendo um aumento de 7,5% do seu valor em relação a estrutura sem balanço. Para o vento a 180° o coeficiente γ_z também sofreu uma variação de 3,1%. Já para os outros dois ventos de 90° e 270°, a variação das duas estruturas ficou na abaixo de 1%.

Para as duas direções em que o vento incide ortogonalmente à laje em balanço, os ventos 90° e 270°, os valores de γ_z classificam a estrutura em nós fixos. Já para os ventos 0° e 180°, a estrutura é classificada em nós móveis, utilizando o processo aproximado de cálculo do coeficiente γ_z , considerando os efeitos de 2ª ordem.

4.5.2 Edificações de Cinco Pavimentos

A Figura 4.14 a seguir representa os valores de γ_z para as edificações com cinco pavimentos:

Figura 4.14 – Comparação de valores de γ_z - cinco pavimentos

Fonte: Acervo do Autor (2023)

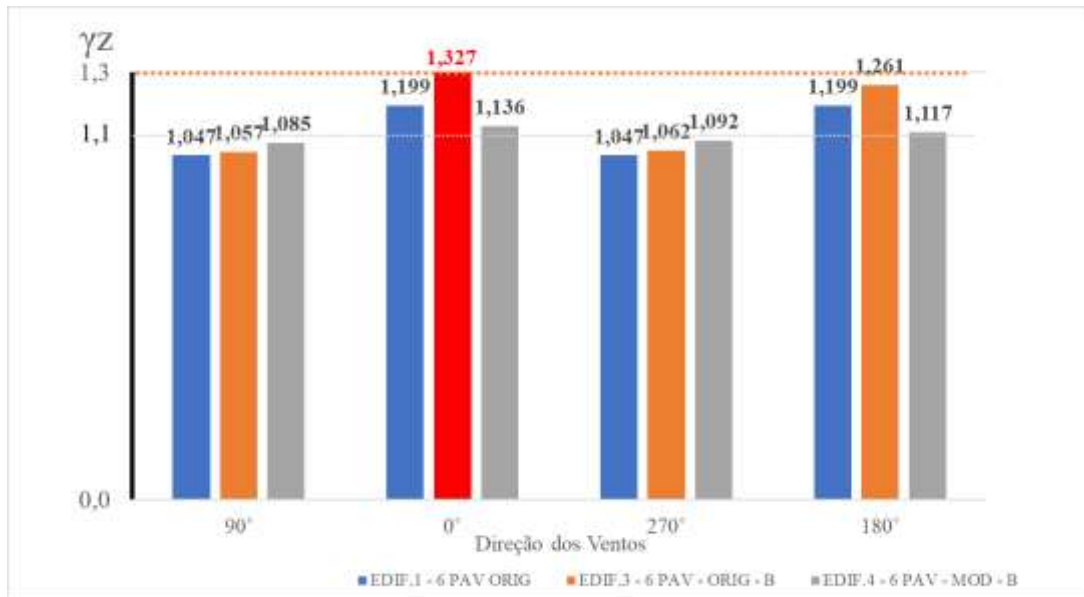
Para as edificações com cinco pavimentos o valor de γ_z teve um aumento de 8,5%, chegando ao valor mais alto de 1,263 para o vento a 0°, se aproximando do seu limite de 1,3 segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023).

Para os ventos a 90° e 270° os dois exemplos continuam sendo classificados em nós fixos, podendo ser desprezados os efeitos de 2ª ordem.

Vale lembrar que essas duas edificações possuem os pilares centrais na sua disposição original.

4.5.3 Edificações de Seis Pavimentos

A Figura 4.15 a seguir representa os valores de γ_z para as edificações com seis pavimentos:

Figura 4.15 – Comparação de valores de γ_z – seis pavimentos

Fonte: Acervo do Autor (2023)

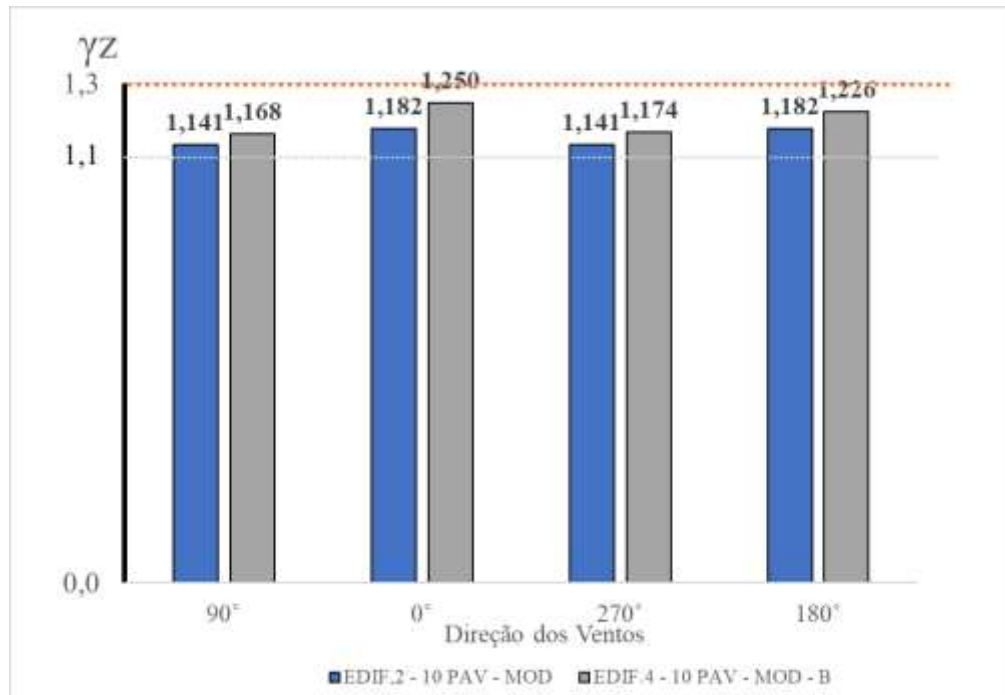
Pela Figura 4.15 é possível notar os valores comparativos de γ_z para as três edificações com seis pavimentos, com diferenças entre a disposição dos pilares e uma estrutura com laje em balanço. A edificação de número 2 foi a que obteve os valores mais altos de γ_z para os ventos a 0° e a 180°, chegando ao valor máximo de 1,327 e 1,261, respectivamente, com um aumento de 9,6% em relação a edificação 1, com valor de 1,199.

A edificação 2 obteve um valor de γ_z de 1,261 para o vento a 180°, que apesar de ser um valor alto, ainda está dentro do limite de 1,3 para utilizar o processo aproximado de cálculo, considerando os efeitos de 2ª ordem.

É possível notar que para os ventos a 90° e 270° os exemplos podem ser classificados como nós fixos, podendo desprezar os efeitos de 2ª ordem. Enquanto que para os ventos a 0° e a 180° todos os exemplos são classificados como nós móveis.

4.5.4 Edificações de Dez Pavimentos

A Figura 4.16 a seguir representa os valores de γ_z para as edificações com dez pavimentos:

Figura 4.16 – Comparação de valores de γ_z - dez pavimentos

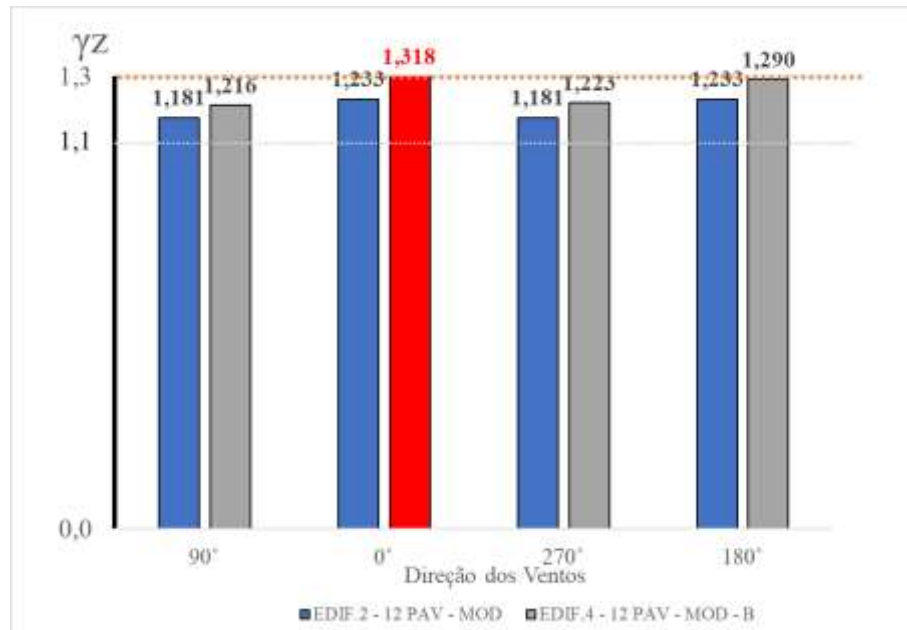
Fonte: Acervo do Autor (2023)

Observando a Figura 4.16 é possível notar que as duas edificações são classificadas como nós móveis para todas as direções de ventos, pois todas passaram do valor de 1,1. Para a direção do vento a 0° em que γ_z obteve o valor máximo de 1,250 para a edificação 4, houve um aumento de 5,7% em relação à edificação 2, que obteve o valor de 1,182.

Para os ventos a 90° e 270°, a variação de γ_z dos dois exemplos, foi de 2,81%. Logo é possível concluir que a direção em que a estrutura é assimétrica, os valores de γ_z são mais altos, já para a direção em que ela continua simétrica, a variação é menor, se aproximando de apenas 3%.

4.5.5 Edificações de Doze Pavimentos

A Figura 4.17 a seguir representa os valores de γ_z para as edificações com doze pavimentos:

Figura 4.17 – Comparação de valores de γ_z - doze pavimentos

Fonte: Acervo do Autor (2023)

Para as edificações com doze pavimentos, como pode ser notado na figura 4.17, as duas edificações são classificadas em nós móveis para as quatro direções de vento, passando o valor de 1,1 indicado pela NBR 6118 (ABNT, 2023).

A maior variação ocorreu, como já esperado, para o vento a 0° com valor de γ_z entre 1,233 para a edificação 2 e 1,318 para a edificação 4, com uma variação de 6,45% em relação as demais direções de ventos.

A edificação 4, com o valor de γ_z de 1,318 para o vento a 0° ultrapassou o limite de γ_z de 1,3, para ser utilizado o processo aproximado de cálculo e resultando em uma interrupção das modificações.

Para os ventos a 90° e 270° os valores de γ_z foi de 1,181 para a edificação 2 e 1,216 para a edificação 3, obtendo uma variação de 2,9% entre elas. Logo, conclui-se que para essas duas direções de vento, poderia ser adicionados mais pavimentos, visto que ela ainda está com um valor de γ_z um pouco distante de 1,3.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento e aplicações dos parâmetros de instabilidade global em uma edificação em concreto armado que são recomendados pela NBR 6118 (ABNT, 2023) e de outro parâmetro que não é utilizado pela norma brasileira. Foram realizadas algumas modificações a partir de uma edificação existente para avaliação dos parâmetros envolvendo: a variação do número de pavimentos, a disposição dos pilares centrais e adição de uma estrutura com laje em balanço com o propósito de analisar a reação que essas mudanças poderiam trazer na estabilidade global da estrutura.

Quando analisada a estrutura em sua disposição original observa-se que os valores de α e γ_z evoluíram de forma muito rápida fazendo com que a estrutura atingisse o valor limite de γ_z com apenas 8 pavimentos. Considerando já a estrutura com os pilares modificados, os parâmetros de instabilidade tiveram um avanço mais devagar, visto que foi melhor distribuída a rigidez da estrutura, levado em consideração que a mudança de inércia favoreceu grandemente o desempenho estrutural resultando em uma estabilidade global maior e mais favorável para a estrutura, permitindo a mesma ganhar mais 18m em altura total, atingindo a marca de 14 pavimentos, apenas com essa modificação na inércia dos pilares centrais. Essa alteração dos pilares centrais foi bastante significativa para a estrutura e teve um grande retorno no valor do parâmetro de γ_z , aqui vale salientar a importância de o projetista conhecer e dominar a utilização dos parâmetros de instabilidade global.

Foi possível concluir que em uma estrutura assimétrica a avaliação do arranjo estrutural precisa ser ainda mais estudada e avaliada para que ela tenha um melhor desempenho na estabilidade global, visto que os valores dos parâmetros α e γ_z , para a estrutura no arranjo original, evoluíram ainda mais rápido do que na estrutura simétrica. E após a modificação na inércia dos pilares, a estrutura obteve um comportamento mais eficiente para a estabilidade global, com os valores de α e γ_z evoluindo mais devagar.

Considerando os exemplos estudados, os valores dos parâmetros γ_z e FAVt para estruturas simétricas comprovam realmente que são idênticos, não possuindo diferenças entre si. Já para estruturas assimétricas foi observado que o valor de FAVt teve um aumento em relação ao valor de γ_z , onde em todos os exemplos o coeficiente FAVt atingiu o seu limite de 1,3 primeiro do que o parâmetro γ_z . Isso porque o coeficiente FAVt além de considerar as forças na horizontal ele também avalia os deslocamentos horizontais provocados por carregamentos verticais.

Vale ressaltar que em todas as vezes que o parâmetro γ_z atingiu o limite de 1,3 estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2023) foi utilizando as combinações em que utilizam o vento a 0° na sua formulação, em especial a combinação de número 7 que faz parte das combinações de casos simples de vento, para a estrutura simétrica. Para a estrutura assimétrica, γ_z atingiu mais rápido o seu limite de 1,3 para as combinações 17 e 29, que utilizam o vento como o carregamento secundário e não o principal.

Todas as simulações foram realizadas utilizando o *software* CAD/TQS® que proporcionou inúmeras combinações para que pudesse ser analisada a estabilidade global dos diferentes modelos estudados, permitindo que as variações fossem feitas, processadas e analisadas de forma eficaz, otimizando vários cálculos e tempo, garantindo que o estudo de estabilidade global das estruturas pudesse ser realizado de forma precisa.

Algumas sugestões para futuros trabalhos relacionados ao tema poderão ser feitos, sendo:

- Análise da estabilidade global a partir de variações em suas características estruturais, comparando os valores da estabilidade no *software* CAD/TQS® e os valores no *software* FTOOL.
- Análise da estabilidade global em estruturas com pilares de seção circulares
- Análise da estabilidade global para fck de alta resistência (Grupo II);

REFERÊNCIAS

ASSIS, J. A. (2018). **AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL DE ESTRUTURAS SIMÉTRICAS DE CONCRETO ARMADO APORTICADAS**. 119p. Trabalho de conclusão de curso Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Jataí, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO - PROCEDIMENTO: REFERÊNCIAS**. Rio de Janeiro, p. 238. 2014.

ARAÚJO, José Milton de. **CURSO DE CONCRETO ARMADO**. Rio Grande: Dunas, 2014. 39 p.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Referência. In: FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **NOVO DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA**. 4. ed. Curitiba: Positivo, 2009. p. 2120

BUENO, Mônica Maria Emerenciano. **AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estruturas e Construção Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CABRAL, E. V. **CURSO DE INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA**. 2018 (Apostila)

CARMO, Regina Maria dos Santos. **EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM EDIFÍCIOS USUAIS DE CONCRETO ARMADO**. 1995. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

CARVALHO, Roberto Chus; PINHEIRO, Libânio Miranda. **CÁLCULO E DETALHAMENTO DE ESTRUTURAS USUAIS DE CONCRETO ARMADO**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2009.

CHINEM, Rodolpho Mendonça. **AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS**. 2010. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

COVAS, Nelson; KIMURA, Alio. **MÉTODO GERAL PARA ANÁLISE LOCAL DE PIALRES**. 2021. Disponível em: <https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3326&language=pt-BR>. Acesso em: 16 ago. 2023.

DREYER, Maurel. **ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO: SISTEMA DE PAREDES E DE PÓRTICOS RÍGIDOS**. 2018. 113 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ESTABILIDADE. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2022. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/estabilidade/>. Acesso em: 20/11/2022

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **DICIONARIO AURÉLIO**. 5. ed. Curitiba: Positivo, 2010. 2272 p.

FREITAS, F. C. DE. **AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS COM E SEM ELEMENTOS DE CONTRAVENTAMENTO**. 2015. Tese (Mestrado em Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

JAEGER, Paula Camila. **ANÁLISE COMPARATIVA DOS EFEITOS DA FORÇA DO VENTO EM EDIFÍCIOS ALTOS**. 2020. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari Univates, Lajeado, 2020.

KIMURA, Alio. **INFORMÁTICA APLICADA A ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. São Paulo: Pini, 2007. 621 p.

KIMURA, Alio. **INFORMÁTICA APLICADA A ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. 429 p.

LEÃO, Thiago Fernandes. **ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE EDIFÍCIOS – ESTUDO DE CASO**. 2014. 32 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

MARQUES, Agler Honorato. **ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO AO SER ADOTADO NÚCLEO RÍGIDO**. 2022. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2022.

MEYER, Regina M. Prosperi. **A URBANIZAÇÃO ILIMITADA E O FUTURO DA CIDADE**. Disponível em: <http://www.e-revistas.uji.es/index.php/kult-ur/article/view/4098/3400> . Acessado em: 08 de Agosto de 2022.

ONU News. **ONU PREVÊ QUE CIDADES ABRIGUEM 68% DA POPULAÇÃO MUNDIAL ATÉ 2050**. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701> . Acessado em: 08 de Agosto de 2022.

MONCAYO, Winston Junior Zumaeta. **ANÁLISE DE SEGUNDA ORDEM GLOBAL EM EDIFÍCIOS COM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO**. 2011. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Programa de Engenharia Civil (Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PINTO, Rivelli da Silva. **NÃO-LINEARIDADE FÍSICA E GEOÉTRICA NO PROJETO DE EDIFÍCIOS USUAIS DE CONCRETO ARMADO**. 1997. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

RIBEIRO, R. J. C.; OLIVEIRA, D. R. C.. **THE COLLAPSE OF REAL CLASS BUILDING**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 357-388, abr. 2018. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/NYkmQV8B3ryDKJnWpWmL7kk/?lang=en>. Acesso em: 15 abr. 2023.

RODRIGUES, Daniela Ferreira. **AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. 2019. 151 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Goiás, Jataí, 2019. Cap. 5.

VASCONCELOS, Lia. **URBANIZAÇÃO - METRÓPOLES EM MOVIMENTO**. (2006). Disponível em: https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=994:reportagens-#:~:tex . Acesso em: 14 de Novembro de 2022.

WORDELL, Fernando. **AVALIAÇÃO DA INSTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS ALTOS**. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

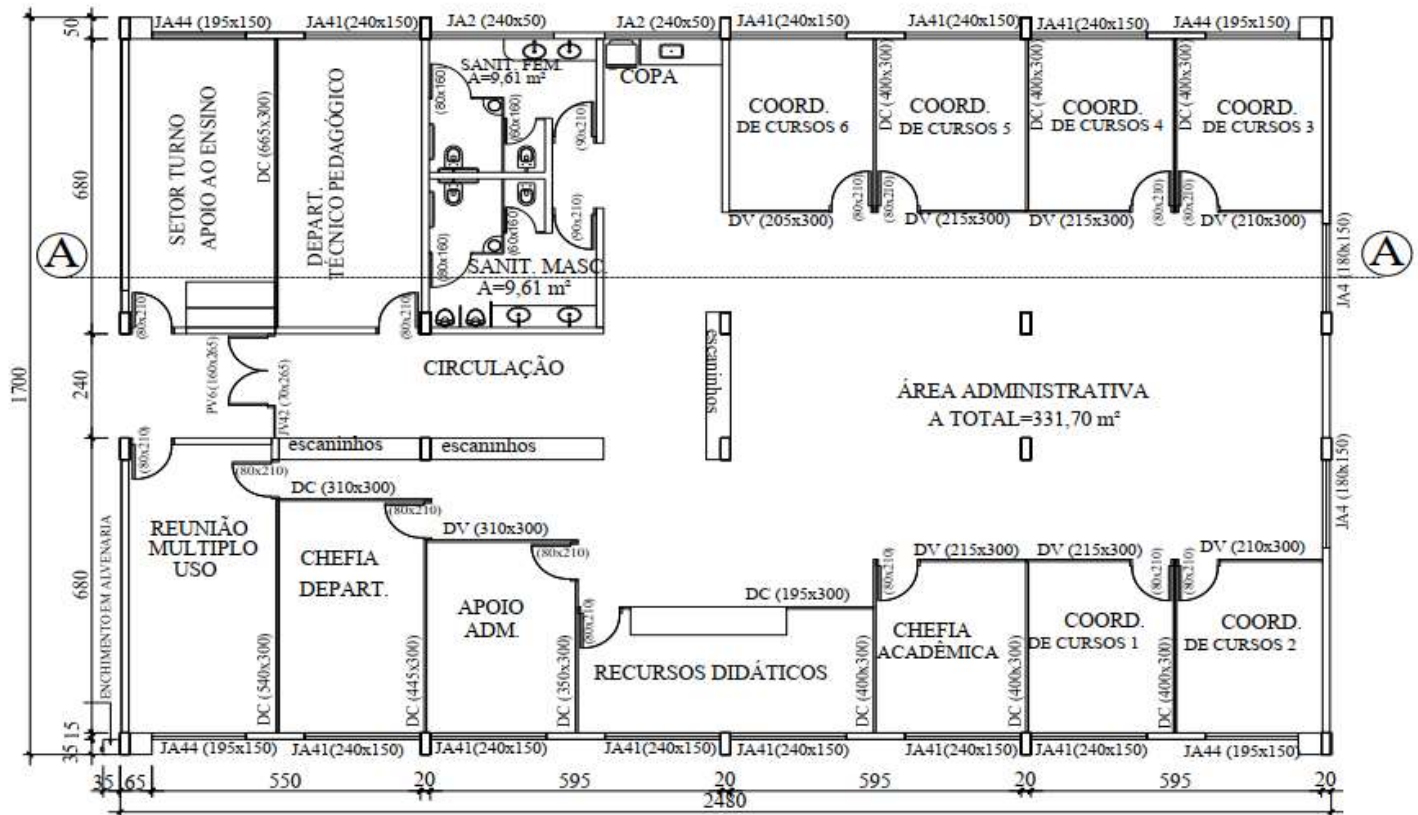
ANEXOS

A.1 – Fachada do edifício do estudo de caso



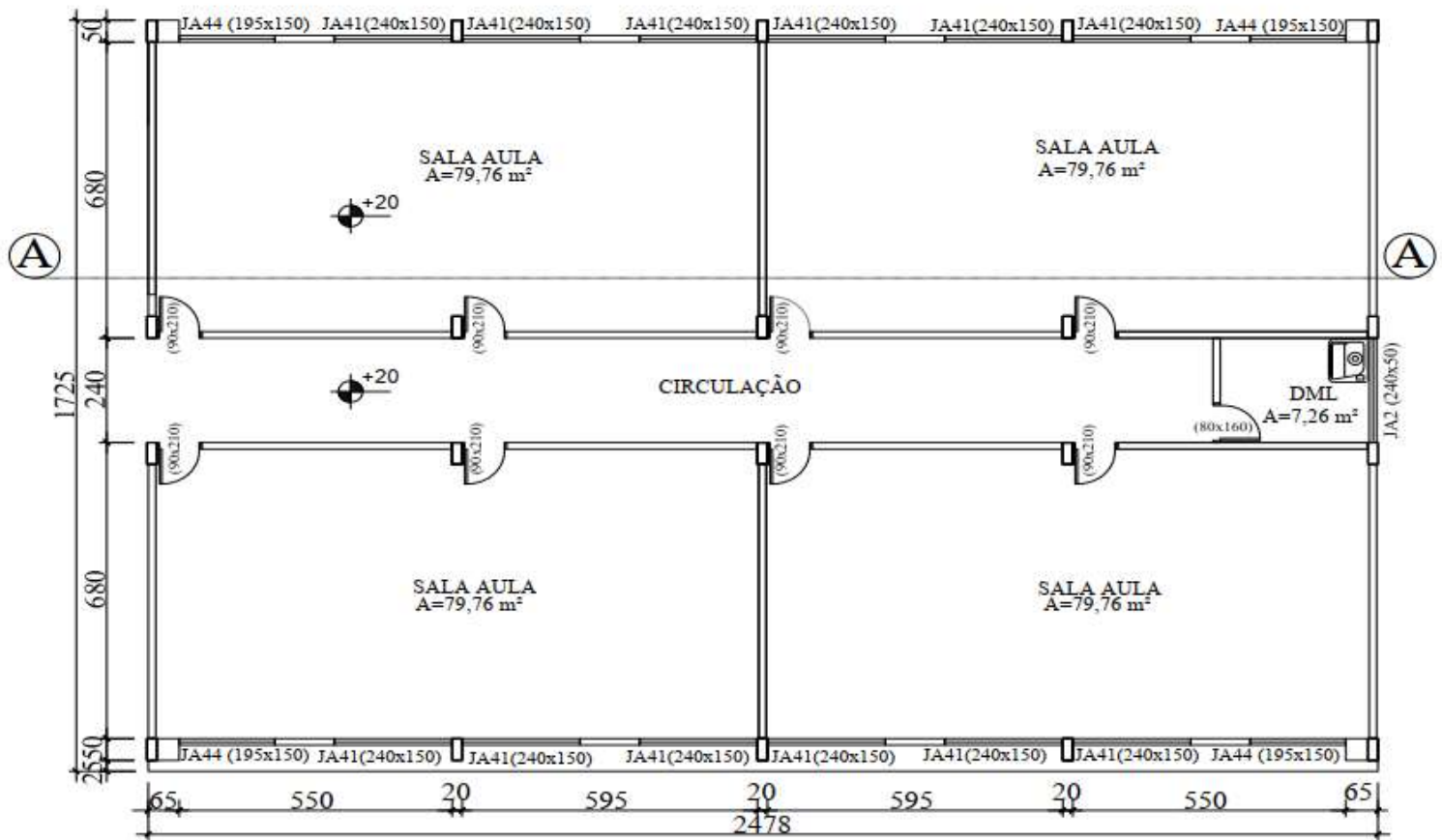
Fonte: Assis (2018)

A.2 – Planta baixa do pavimento térreo (dimensões em centímetros, sem escala)



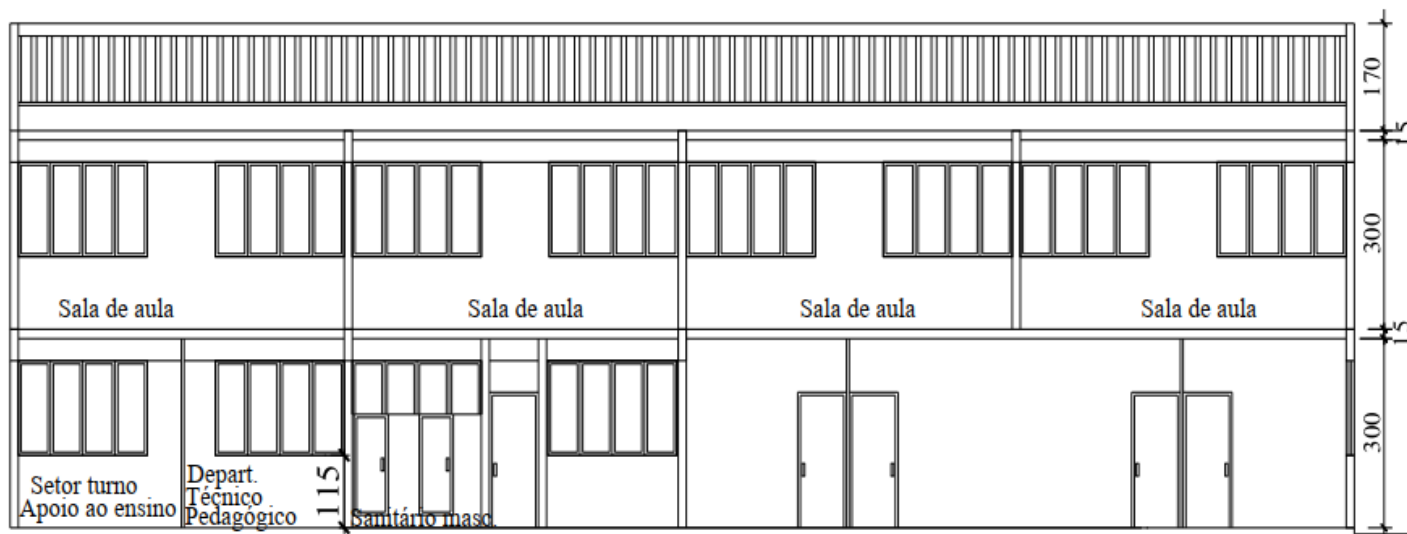
Fonte: Assis (2018)

A.3 – Planta baixa do pavimento superior (dimensões em centímetros, sem escala)



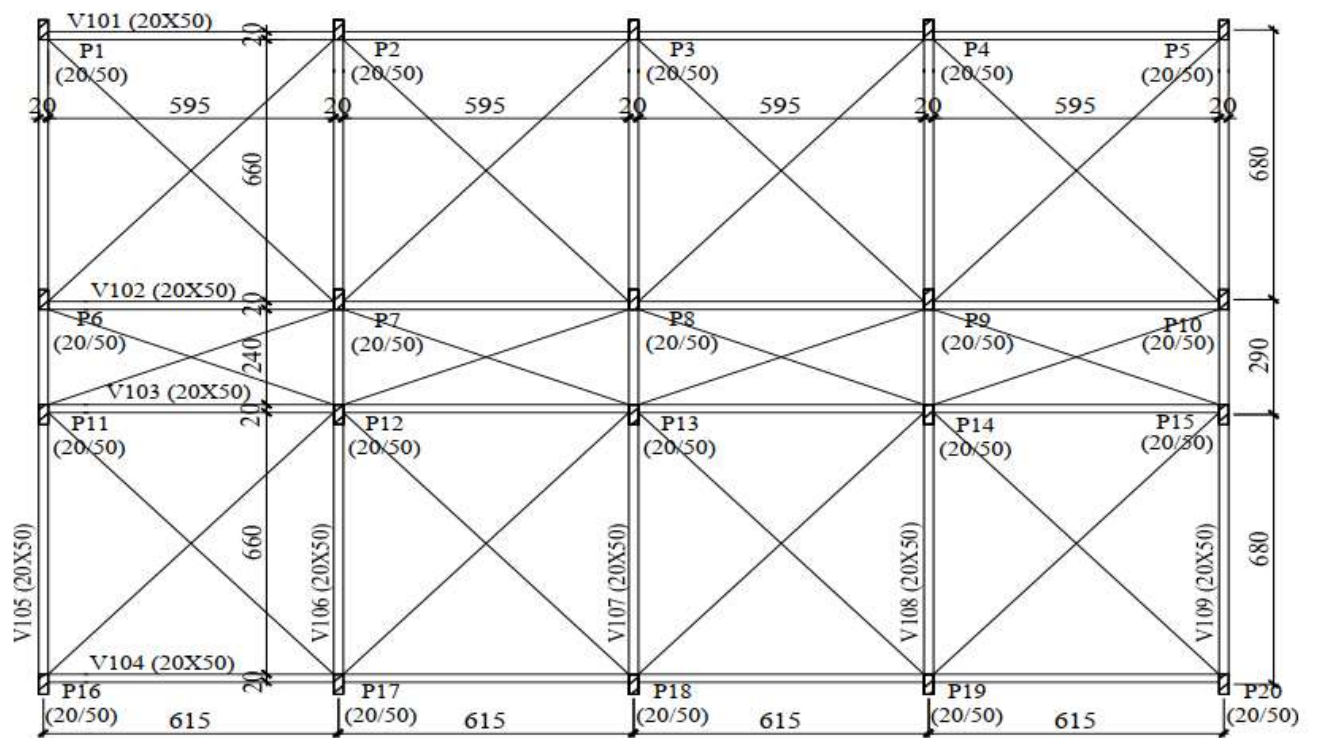
Fonte: Assis (2018)

A.4 – Corte AA (dimensões em centímetros, sem escala)



Fonte: Assis (2018)

A.5 – Planta de forma da fundação (dimensões em centímetros, sem escala)



Fonte: Assis (2018)