

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

MARCELLO LIMA FERREIRA DA SOLEDADE SILVA

PARÂMETRO DE INSTABILIDADE GLOBAL GAMA-Z: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Jataí
2025



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

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 e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome completo do autor: Marcello Lima Ferreira da Soledade Silva

Matrícula: 20211020260030

Título do trabalho: PARÂMETRO DE INSTABILIDADE GLOBAL GAMA-Z: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ 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, 18/12/2025.

Local

Data

(Assinado Eletronicamente)

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marcello Lima Ferreira da Soledade Silva**, 20211020260030 - Discente, em 18/12/2025 17:03:03.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/12/2025. 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: 723196

Código de Autenticação: 3a535eafb7



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek,, 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3514-9580 (ramal: 9580)

MARCELLO LIMA FERREIRA DA SOLEDADE SILVA

**PARÂMETRO DE INSTABILIDADE GLOBAL GAMA-Z: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

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): Dra. Mônica Maria Emerenciano Bueno

Jataí
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Silva, Marcello Lima Ferreira da Soledade.

Parâmetro de instabilidade global gama-z: uma revisão sistemática da literatura [manuscrito] / Marcello Lima Ferreira da Soledade Silva. - Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, 2025.

xlij; 42 f.; il.

Orientadora: Prof.^a. Dr^a. Mônica Maria Emerenciano Bueno.

Inclui referências.

1. Parâmetros de instabilidade global. 2. Efeitos de segunda ordem. 3. Revisão bibliográfica. 4. Coeficiente gama-z. 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 Oliveira Barbosa Sabino – CRB 1/2380 – Campus Jataí. Cód. F071/2025-2.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

MARCELLO LIMA FERREIRA DA SOLEDADE SILVA

PARÂMETRO DE INSTABILIDADE GLOBAL GAMA-Z: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de 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.

Monografia defendida e aprovada, em 27 de Novembro de 2025, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Profa. Doutora Mônica Maria Emerenciano Bueno

Presidente da banca / Orientadora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Profa. Doutora Francielle Coelho dos Santos

Membro interno

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Eng. Civil Especialista José Victor Macedo Menezes

Membro externo

Prefeitura de Jataí

Jataí – GO

2025

Documento assinado eletronicamente por:

- JOSE VICTOR MACEDO MENEZES, JOSE VICTOR MACEDO MENEZES - 111415 - Chefe de assessoria técnica do serviço público municipal - Prefeitura Municipal de Jataí (1), em 19/12/2025 23:28:49.
- Monica Maria Emerenciano Bueno, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/12/2025 14:20:09.
- Francielle Coelho dos Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/12/2025 17:03:14.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/12/2025. 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: 723195

Código de Autenticação: 2d8acc216d



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek,, 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714

(64) 3514-9580 (ramal: 9580)

AGRADECIMENTOS

À Deus, cuja presença me sustentou em cada dificuldade, concedendo-me força e direção ao longo de toda esta jornada.

Aos meus pais, Anaídes Lima Ferreira Silva e Célio da Soledade Silva, pelo apoio incondicional, por acreditarem no meu potencial e por não medirem esforços para que eu pudesse realizar meus objetivos.

Ao meu irmão e colega de turma, Savyo Lima Ferreira da Soledade Silva, por acreditar em mim com uma convicção que, muitas vezes, superou a minha própria.

Aos meus familiares e amigos, que, com sua presença, carinho e afeto, preencheram esta trajetória de coragem, leveza e propósito, tornando cada etapa mais significativa.

À minha orientadora, professora Mônica Maria Emerenciano Bueno, pela paciência, dedicação e orientação durante a elaboração deste trabalho, cuja contribuição foi essencial para seu desenvolvimento.

RESUMO

SILVA, M. L. F. S. (2025). **Parâmetro de instabilidade global gama-z: uma revisão sistemática da literatura**. 42p. Trabalho de conclusão de curso Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Jataí, 2025.

As edificações antigas eram caracterizadas por estruturas rígidas, compostas por numerosos pilares e vigas de grandes dimensões. Em contraste, os edifícios contemporâneos tornaram-se mais altos, esbeltos e baseados em sistemas estruturais mais leves, o que os tornam mais suscetíveis à instabilidade. Nesse cenário, a análise da estabilidade global torna-se essencial para garantir que a estrutura suporte ações verticais e horizontais sem apresentar deformações excessivas. Diante dessas transformações, o dimensionamento estrutural passou a exigir métodos mais avançados e criteriosos. A NBR 6118 (ABNT, 2023) introduz o parâmetro γ_z como ferramenta para verificar a estabilidade global em estruturas de concreto armado. Assim, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre esse coeficiente. Para isso, foram coletados dados nas plataformas Scopus, SciELO, Periódicos da CAPES e Web of Science, e a organização das 33 publicações selecionadas foi realizada por meio da ferramenta Parsifal, das quais 11 atenderam aos critérios de inclusão. Os resultados mostram que a produção científica recente concentra-se na avaliação da aplicabilidade e confiabilidade do γ_z e na proposição de novos parâmetros simplificados análogos, como aqueles baseados no Método de Galerkin, indicando que o coeficiente normativo apresenta desempenho satisfatório em edifícios regulares, mas tende a subestimar esforços em situações-limite ou com efeitos torsionais relevantes. Observou-se ainda que apenas um estudo considera a versão mais recente da NBR 6118 e que todas as pesquisas identificadas foram desenvolvidas por autores brasileiros. Esta pesquisa contribui ao sistematizar e organizar criticamente a literatura sobre o coeficiente γ_z , reunindo evidências recentes sobre sua aplicabilidade e limites, além de identificar lacunas relevantes (especialmente a baixa incidência de estudos com a versão mais recente da NBR 6118).

Palavras-chave: Parâmetros de instabilidade global. Efeitos de segunda ordem. Revisão bibliográfica. Coeficiente gama-z.

ABSTRACT

SILVA, M. L. F. S. (2025). **Global instability parameter gamma-z: a systematic literature review**. 42p. Undergraduate thesis in Civil Engineering, Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás. Jataí, 2025.

Old buildings were characterized by rigid structures, composed of numerous large pillars and beams. In contrast, contemporary buildings have become taller, more slender, and based on lighter structural systems, making them more susceptible to instability. In this scenario, the analysis of global stability becomes essential to ensure that the structure can withstand vertical and horizontal loads without excessive deformation. Given these transformations, structural design has come to require more advanced and rigorous methods. NBR 6118 (ABNT, 2023) introduces the parameter γ_z as a tool to verify global stability in reinforced concrete structures. Thus, this work aims to conduct a systematic literature review on this coefficient. To this end, data were collected from the Scopus, SciELO, CAPES Journals, and Web of Science platforms, and the organization of the 33 selected publications was carried out using the Parsifal tool, of which 11 met the inclusion criteria. The results show that recent scientific production focuses on evaluating the applicability and reliability of γ_z and proposing new simplified analogous parameters, such as those based on the Galerkin Method, indicating that the normative coefficient performs satisfactorily in regular buildings, but tends to underestimate stresses in limit situations or with relevant torsional effects. It was also observed that only one study considers the most recent version of NBR 6118 and that all the identified research was developed by Brazilian authors. This research contributes to systematizing and critically organizing the literature on the γ_z coefficient, gathering recent evidence on its applicability and limitations, as well as identifying relevant gaps (especially the low incidence of studies using the most recent version of NBR 6118).

Keywords: Global instability parameters. Second-order effects. Literature review. Gamma-z coefficient.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Edifício “A noite”	16
Figura 2.2 - Representação Conceitual: Análise Linear e Não Linear	19
Figura 2.3 - Efeitos de primeira ordem	20
Figura 2.4 - Classificação dos efeitos de 2º ordem	21
Figura 4.1 – Fluxograma do Processo de Condução da Revisão Sistemática	29
Figura 4.2 - Distribuição anual de artigos identificados na RSL	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Artigos escolhidos para estudo

32

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Distribuição das publicações por base de dados

29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALCONPAT	Associação Brasileira de Patologia das Construções
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
IFPB	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
NBR	Norma Brasileira
NLF	Não linearidade física
NLG	Não linearidade geométrica
PICOC	População, Intervenção, Comparação, Resultado e Contexto
RECIMA	Revista científica multidisciplinar
RSL	Revisão sistemática da literatura

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Parâmetro de estabilidade global de estruturas
α_1	Valor limite normativo do parâmetro α
γ_z	Coefficiente de avaliação dos efeitos globais de segunda ordem
ζ_g	Parâmetro para avaliar os efeitos globais de segunda ordem em estruturas
P- Δ	Efeitos globais da NLG/ Método para obter os momentos finais de 2ª ordem
H _{tot}	Altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo
N _k	Somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H _{tot}), com seu valor característico
E _{csIc}	Representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada
M _{1,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
$\Delta M_{tot,d}$	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
B ₂	Coefficiente que mede a deslocabilidade global da estrutura
γ_θ	coeficiente que expressa o quanto a instabilidade global aumenta os esforços na estrutura.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	15
CAPÍTULO 2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 CONCRETO ARMADO NO BRASIL	16
2.2 ANÁLISE ESTRUTURAL	18
2.2.1 Análise Linear	18
2.2.2 Análise Não Linear	18
2.3 EFEITOS DE PRIMEIRA ORDEM	19
2.4 EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM	20
2.5 PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL: α (ALFA) E γ_z (GAMA-Z)	22
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA	25
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	25
3.2 STRING DE BUSCA	26
3.3 CONDUÇÃO	27
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	28
4.1 RESUMO DOS ARTIGOS	28
4.2 ANÁLISE DOS DADOS EXTRAÍDOS	34
4.2.1 Aplicabilidade e confiabilidade do γ_z	35
4.2.2 Propostas de novos parâmetros simplificados análogos ao γ_z	36
CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS	39

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

A fim de atender às demandas do mercado imobiliário, observa-se um crescimento contínuo da verticalização dos centros urbanos. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o número de apartamentos no Brasil cresceu aproximadamente 43% entre os anos de 2000 e 2010, passando de 4,3 milhões para 6,1 milhões de unidades, o que evidencia o avanço significativo da verticalização no país. Ao mesmo tempo, a introdução de soluções mais audaciosas no *design* arquitetônico levaram ao aumento das considerações de instabilidade global às estruturas de concreto armado. Os efeitos de segunda ordem emergem da consideração da estrutura já deslocada. Devido a isso, engenheiros estruturais são obrigados a levar esse efeito em consideração de forma mais rigorosa. Como enfatizado por Leonhardt (1980), a resposta não linear das estruturas deve ser considerada em um projeto seguro, particularmente na presença de fenômenos como deformações.

Nesse contexto, o coeficiente de instabilidade global gama-z (γ_z) aparece como um instrumento analítico particularmente importante. Por ser um parâmetro de avaliação da vulnerabilidade estrutural à instabilidade global, ele fornece critérios objetivos sobre a necessidade de considerar os efeitos não lineares nas construções.

A literatura nacional vem abordando o coeficiente γ_z desde sua formulação inicial, com contribuições relevantes de autores como Franco e Vasconcelos, cujos trabalhos fundamentaram tanto o aprofundamento de sua base teórica quanto a justificativa de sua aplicação prática em diferentes tipos de estruturas de concreto armado. Assim, a produção científica sobre ele é altamente abundante, mas carece de organização sistemática que evidencie algum tipo de padrão, repetições de metodologias, divergências de conceitos e até mesmo lacunas de conhecimento. A revisão sistemática, como destacam Lakatos e Marconi (2001), torna-se uma ferramenta fundamental na consolidação do conhecimento científico quando reúne e analisa criticamente estudos dispersos.

Portanto, este trabalho é motivado pela necessidade de aprofundar e criticar o uso do coeficiente gama-z. Ao identificar, selecionar e analisar produções acadêmicas em bases de dados reconhecidas por sua importância, pretende-se delinear um panorama técnico-científico coerente, capaz de apontar não apenas resultados semelhantes, mas também as lacunas nos estudos.

1.1 JUSTIFICATIVA

A esbeltez das estruturas nas construções atuais, influenciada por fatores como o aumento da densidade populacional e novas regras nos planos diretores que permitem edificações mais altas, impacta diretamente nas considerações de cálculo dos modelos estruturais. A Lei nº 16.402/2016 (Plano Diretor Estratégico e Lei de Zoneamento de São Paulo) foi um marco ao institucionalizar o conceito de "Potencial Construtivo" e criar mecanismos que incentivam a verticalização em regiões específicas. As estruturas esbeltas tornam-se mais suscetíveis às ações horizontais, que geram deslocamentos laterais e, somados às cargas verticais, resultam em esforços adicionais conhecidos como Efeitos de Segunda Ordem (BUENO, 2009). Esses efeitos são inerentes às estruturas de concreto, no entanto, a depender da magnitude devem ser considerados.

A NBR 6118 (ABNT, 2023), que estabelece os procedimentos para projeto de estruturas de concreto, apresenta o coeficiente γ_z como um indicador da instabilidade global de uma estrutura. Como destaca Araújo (2010) ele é um critério para comprovação da possibilidade de dispensa dos efeitos de segunda ordem (ARAÚJO, 2010). Esse indicativo é amplamente estudado na literatura brasileira, com extensos trabalhos e resultados. De acordo com Vasconcelos (1998), o coeficiente gama-z foi apresentado pela primeira vez em 1991 com o trabalho "Practical Assessment of Second Order Effects in Tall Buildings", de Franco e Vasconcelos. Os autores identificaram que as deformações causadas por cargas externas (1ª ordem) geram deslocamentos que provocam novos esforços e, conseqüentemente, novas deformações (2ª ordem). Ao observarem que essas deformações sucessivas seguiam uma progressão geométrica, foi possível chegar ao coeficiente gama-z.

A revisão bibliográfica entra como um aspecto sintetizador de grande parte do material acadêmico produzido de uma determinada área em um recorte de tempo. É forçoso compreender que a atividade científica muitas vezes é descentralizada (na acepção de não coordenada), com pesquisas desenvolvidas de forma isolada, descontinuadas ou sem articulação com trabalhos anteriores. Nesse quadro, a revisão bibliográfica entra como compilador de conhecimento disperso, apresentando padrões, lacunas e contradições, além de iluminar caminhos para futuras investigações nas áreas obscuras do conhecimento (MOREIRA, 2004).

Diante da variedade de trabalhos dedicados à instabilidade global, uma revisão sistemática consistente se mostra relevante para exercer um papel fundamental na organização e disseminação do conhecimento científico acumulado sobre o tema. Essa tarefa torna-se

ainda mais importante frente aos desafios contemporâneos associados ao uso de mecanismos de buscas baseados em inteligência artificial, os quais frequentemente apresentam conteúdos sem rigor acadêmico.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho objetiva reunir, analisar e comparar a produção acadêmica sobre o coeficiente de instabilidade global gama-z aplicado a estruturas de concreto armado, buscando como meta quantificar as informações presentes na literatura.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar o parâmetro de instabilidade global gama-z;
- Identificar e selecionar produções acadêmicas que abordam o coeficiente de instabilidade global gama-z aplicado a estruturas de concreto armado, publicadas em bases de dados científicas reconhecidas;
- Comparar os resultados e conclusões dos trabalhos analisados com o intuito de determinar padrões de interpretação, divergências e lacunas no tratamento do tema
- Sistematizar as informações obtidas na pesquisa, consolidando o conhecimento técnico-científico sobre o coeficiente γ_z .

CAPÍTULO 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão descritos a utilização do concreto armado no Brasil e os conceitos fundamentais para análise da instabilidade global das estruturas.

2.1 CONCRETO ARMADO NO BRASIL

Apesar de algumas divergências encontradas na literatura nacional, Vasconcelos (1992) aponta que o uso do concreto armado no Brasil teve início em 1892. Sob a responsabilidade do engenheiro Carlos Poma, as primeiras aplicações ocorreram em construções habitacionais no bairro de Copacabana, no Rio de Janeiro. Nas décadas seguintes, o sistema construtivo em concreto armado expandiu-se significativamente. A evolução tecnológica e a adoção do concreto armado foram impulsionadas por diversas obras de destaque. Em São Paulo, construíram-se importantes pontes como a Ponte sobre o Rio Camanducaia, em Amparo (1911), e a ponte em arco sobre o Rio Tamanduateí, na Mooca (1912), com vão de 29 metros. Durante as décadas de 1920 e 1930, o uso do concreto armado atingiu patamares inovadores, marcados por recordes mundiais e sul-americanos. No Rio de Janeiro, destacam-se as fundações do Jockey Club (1924), com 8 km de estacas cravadas a até 24 metros de profundidade, e sua marquise com balanço de 22,4 metros (1926), ambos considerados feitos notáveis da engenharia da época. Ainda no Rio de Janeiro, o edifício “A Noite” inaugurado em 1929, com 22 pavimentos e 102,8 metros, foi o mais alto edifício de concreto armado do mundo no momento de sua conclusão (VASCONCELOS, 1992). O edifício é um marco da arquitetura moderna no Rio. Após sua construção, a cidade passou por um processo de verticalização que mudou sua paisagem, como ilustra a Figura 2.1, que mostra o Edifício “A Noite”, um dos marcos dessa transformação urbana.

Figura 2.1 – Edifício “A noite”



Fonte: Acervo Rádio Nacional do Rio de Janeiro (1929)

Observa-se que a crescente verticalização dos centros urbanos no Brasil foi viabilizada pelo uso do concreto armado. Além disso, a atuação dos engenheiros nacionais foi notável, tanto no processo executivo dessas obras como no processo de cálculo com inovações estruturais e novos parâmetros de segurança. Esse avanço da engenharia brasileira é evidenciado por TELLES (1994), que, embora reconheça os progressos, também critica a utilização excessiva do concreto.

Para muita gente, e mesmo para muitos engenheiros, parecia que o concreto armado era a solução universal para todas as estruturas de engenharia. Assim o concreto passou a ser largamente empregado, onde devia e também onde não devia. [...]. Com isso, formou-se a grande “escola brasileira do concreto armado”, iniciada e liderada por alguns ilustres pioneiros estrangeiros e brasileiros auto-ditadas. [...] O concreto armado e a arquitetura moderna agiram um como catalisador do outro, e vice-versa: o concreto armado possibilitou a realização de construções com novas formas e audaciosas soluções arquitetônicas [...] (TELLES, 1994, pp. 484-485)

Atualmente, o sistema construtivo em concreto armado constitui a base das edificações no Brasil, sendo amplamente empregado em conjunto com a alvenaria de blocos cerâmicos. Esse arranjo configura-se como o sistema mais utilizado no país, embora apresente características artesanais que podem resultar em desperdício de materiais e na geração significativa de resíduos COSTA (2019). Essa predominância se deve, em grande parte, à viabilidade técnica e ao custo relativamente acessível da mão de obra, o que favorece a execução de estruturas moldadas *in loco*. Em contraste, países com processos construtivos mais industrializados tendem a adotar métodos como pré-fabricação, estruturas metálicas e sistemas mistos, que otimizam tempo e padronização (SANTOS, 2008). No contexto brasileiro, o avanço e consolidação do uso do concreto também estão fortemente associados ao desenvolvimento da normatização técnica, especialmente com a criação de normas específicas pela ABNT a partir da década de 1940, que estabeleceram critérios para dimensionamento, execução e controle de qualidade, conferindo maior segurança e confiabilidade às estruturas de concreto armado.

2.2 ANÁLISE ESTRUTURAL

Compete ao engenheiro, no processo de dimensionamento, a condução da análise estrutural. Essa etapa do projeto representa a idealização do comportamento da estrutura frente às ações previstas. Trata-se de uma fase fundamental, na qual se determina, com base em um modelo representativo, os esforços internos e externos resultantes das cargas atuantes. A adequada idealização estrutural é indispensável, pois os resultados obtidos ao final da análise incluindo esforços solicitantes, deslocamentos e deformações constituem a base para o dimensionamento e a verificação da segurança e do desempenho dos elementos estruturais (MARTHA, 2010).

Essas análises seguem modelos matemáticos previamente estudados e normatizados. A NBR 6118 (ABNT, 2023) estabelece diferentes abordagens para a avaliação do comportamento estrutural, entre elas: análise linear, análise linear com redistribuição, análise plástica, análise não linear e análise por meio de modelos físicos. Dentre essas, destacam-se a análise linear e a análise não linear, por serem amplamente utilizadas na prática profissional e por representarem os dois principais paradigmas de modelagem do comportamento estrutural. A seguir, apresentam-se os fundamentos e características de cada uma dessas abordagens.

2.2.1 Análise Linear

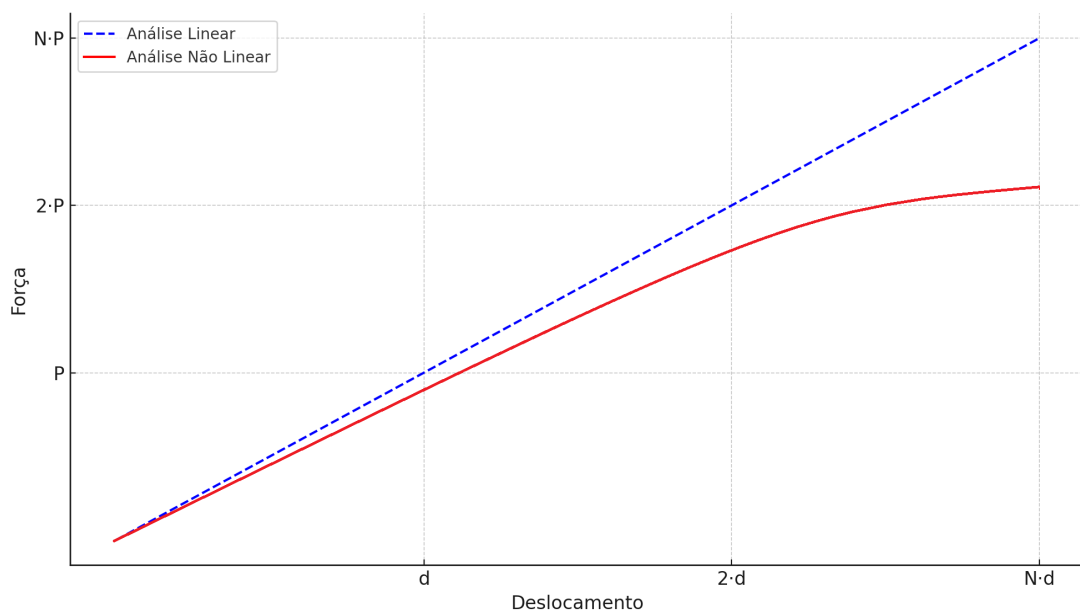
A análise linear considera que os carregamentos aplicados à estrutura resultam em esforços internos, deslocamentos e deformações diretamente proporcionais às forças atuantes, pressupondo um comportamento linear entre ações e respostas estruturais (KIMURA, 2007). De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, nesse tipo de análise admite-se o comportamento elástico-linear dos materiais, sendo que, na análise global da estrutura, as características geométricas dos elementos podem ser determinadas a partir da seção bruta de concreto.

2.2.2 Análise Não Linear

Na análise não linear, a aplicação de uma força a um sistema estrutural resulta em uma deformação que não é proporcional ao carregamento, exigindo modelos mais complexos para representar o comportamento real da estrutura.

Como ilustrado na Figura 2.2, a força "P", dependendo do tipo de análise adotada, pode gerar respostas significativamente distintas, o que influencia diretamente nas premissas de dimensionamento e verificação dos modelos estruturais. Observa-se ainda que os deslocamentos obtidos por meio da análise não linear não seguem uma relação linear com a carga aplicada, podendo assumir diferentes formatos de curva no gráfico.

Figura 2.2 - Representação Conceitual: Análise Linear e Não Linear



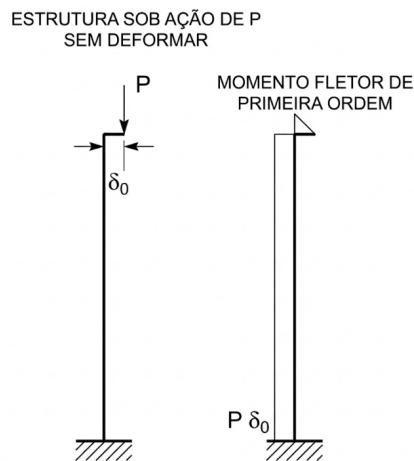
Fonte: Autoria própria (2025)

O comportamento linear permite a aplicação da Lei de Hooke nas análises estruturais, uma vez que a relação entre a força aplicada e a deformação resultante é proporcional, caracterizando o regime elástico do material (LABURÚ; ALMEIDA, 1998). Quando essa proporcionalidade deixa de existir, o sistema passa a apresentar comportamento não linear, cuja origem pode ser atribuída, principalmente, a dois fatores: a não linearidade física (NLF), relacionada ao comportamento inelástico dos materiais, e a não linearidade geométrica (NLG), decorrente dos carregamentos que alteram significativamente a configuração original da estrutura (KIMURA, 2007).

2.3 EFEITOS DE PRIMEIRA ORDEM

Os efeitos de primeira ordem correspondem às solicitações e deformações lineares que ocorrem em uma estrutura submetida às ações diretas de carregamento, desconsiderando a influência das deformações na redistribuição interna dos esforços. Em outras palavras, esses efeitos representam o comportamento estrutural inicial, determinado a partir da análise linear elástica, onde as forças internas (momentos fletores, esforços normais e cortantes) são calculadas com base na geometria indeformada da estrutura. A Figura 2.3 mostra esse tipo de efeito aplicado a uma barra engastada na base e livre no topo.

Figura 2.3 - Efeitos de primeira ordem



Fonte: Carvalho (2009)

Nota-se, que os efeitos de primeira ordem constituem a base para todas as etapas subsequentes de verificação estrutural, uma vez que a partir deles são definidos os esforços de referência utilizados na avaliação da estabilidade global e na consideração dos efeitos de segunda ordem.

2.4 EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM

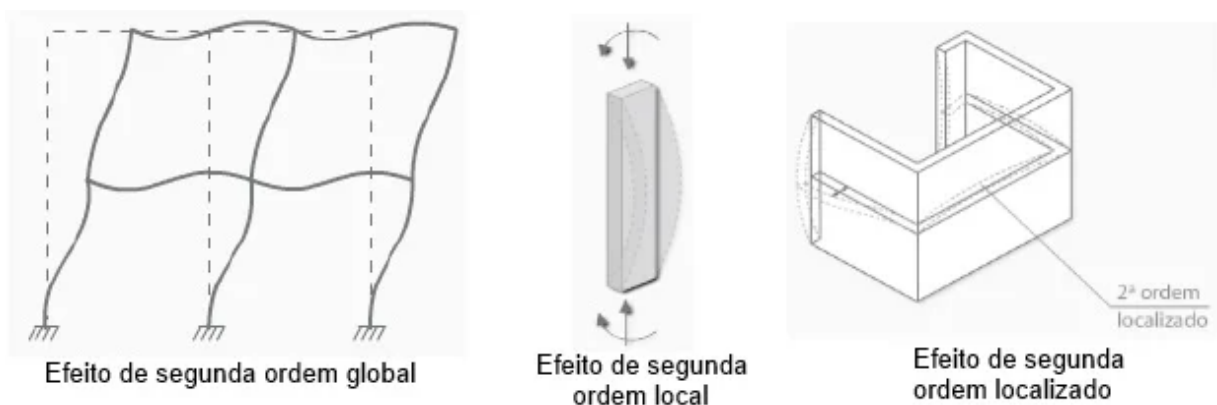
Os efeitos de segunda ordem representam um aspecto fundamental na análise estrutural moderna, especialmente em edifícios de múltiplos pavimentos.

Estes efeitos se manifestam nas estruturas quando a análise do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada, gerando esforços adicionais que não existiam na configuração inicial indeformada (VASCONCELOS, 1991). Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), estes efeitos podem ser desprezados quando não representarem acréscimo superior a 10% nas reações e solicitações relevantes da estrutura.

Sua origem está na não linearidade geométrica das estruturas, quando a relação entre deslocamentos e deformações deixa de ser linear. Kimura (2007) explica que estes efeitos ocorrem quando os esforços calculados na posição deslocada da estrutura são significativamente diferentes daqueles calculados na posição indeformada. A consideração destes efeitos torna-se ainda mais complexa em estruturas de concreto armado devido à não linearidade física do material, que apresenta comportamento diferente sob tração e compressão, além da fissuração e da fluência.

Os efeitos de segunda ordem são classificados em três categorias principais: efeitos globais, efeitos locais e efeitos localizados. Esta classificação, adotada pela NBR 6118 (ABNT, 2023), tem implicações diretas na metodologia de análise estrutural a ser empregada e na compreensão do comportamento das estruturas sob carregamento. A Figura 2.4 ilustra cada uma das classificações.

Figura 2.4 - Classificação dos efeitos de 2º ordem



Fonte: Kirsten (2024)

Os efeitos globais de segunda ordem relacionam-se com os deslocamentos horizontais dos nós da estrutura, afetando a estrutura como um todo. Particularmente importantes em edifícios altos e esbeltos, onde os deslocamentos laterais podem ser significativos, estes efeitos são caracterizados pela influência dos deslocamentos horizontais da estrutura no equilíbrio geral. Moncayo (2011) observa que estes efeitos são mais críticos em edifícios onde a altura é consideravelmente maior que as dimensões em planta, criando uma condição de esbeltez estrutural que favorece a amplificação dos deslocamentos.

Diversos métodos podem ser empregados na análise dos efeitos globais de segunda ordem em estruturas de concreto armado. Entre eles, destacam-se os métodos aproximados, como o coeficiente γ_z e o parâmetro α (alfa), bem como os métodos mais rigorosos, baseados na análise não linear geométrica. Wordell (2003) destaca o Método P-Delta, que considera a amplificação dos momentos fletores devido aos deslocamentos laterais da estrutura; a análise não linear geométrica, que atualiza a matriz de rigidez da estrutura a cada incremento de carga; e os métodos aproximados, que utilizam parâmetros de instabilidade como o coeficiente γ_z e o parâmetro α para estimar a amplificação dos esforços. A escolha do método mais adequado depende das características da estrutura e do nível de precisão desejado na análise.

A NBR 6118 (ABNT, 2023) estabelece critérios objetivos para determinar quando os efeitos globais de segunda ordem podem ser desprezados, utilizando o parâmetro de instabilidade α e o coeficiente γ_z como indicadores. Quando o parâmetro α for menor que o valor limite α_1 , ou quando o coeficiente γ_z for menor ou igual a 1,1, estes efeitos podem ser desconsiderados na análise estrutural. Caso contrário, torna-se necessária sua consideração explícita, garantindo assim a segurança e o desempenho adequado da estrutura.

2.5 PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL: α (ALFA) E γ_z (GAMA-Z)

A avaliação da estabilidade global de estruturas de concreto armado é um aspecto fundamental no projeto estrutural, especialmente em edifícios altos e esbeltos. NBR 6118 (ABNT, 2023) apresenta dois parâmetros principais para esta avaliação: o parâmetro de instabilidade α e o coeficiente γ_z . Estes parâmetros permitem ao projetista avaliar de forma objetiva a sensibilidade da estrutura aos efeitos de segunda ordem, orientando a escolha dos métodos de análise mais adequados.

O parâmetro de instabilidade α foi inicialmente proposto por Beck e König (1966) e posteriormente adaptado para as estruturas de concreto armado. Este parâmetro relaciona a rigidez da estrutura com sua altura e o carregamento vertical atuante, fornecendo uma medida da susceptibilidade da estrutura à instabilidade por cargas verticais. Quanto maior o valor de α , maior a sensibilidade da estrutura aos efeitos de segunda ordem, indicando uma possível necessidade de consideração explícita destes efeitos na análise estrutural.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), o parâmetro α é calculado pela equação 1.

$$\alpha = H_{tot} \cdot \sqrt{\frac{Nk}{E_{cs} I_c}} \quad (1)$$

Em que:

- $\alpha = 0,2 + 0,1 \times n$ se: $n \leq 3$
- $\alpha = 0,6$ se: $n \geq 4$

Com:

- n : número de níveis de barras horizontais (pavimentos) acima da fundação ou de um nível com apoio deslocável do subsolo
- H_{tot} : altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível com apoio deslocável
- Nk : somatório das cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para cálculo de t), com seu valor característico
- $E_{cs} I_c$ representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórticos, de treliças ou mistas, ou pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode-se considerar o valor da expressão $E_{cs} I_c$ de um pilar equivalente de seção constante.

Moncayo (2011) destaca que o parâmetro α pode ser interpretado como uma medida da rigidez relativa da estrutura, considerando sua altura e o carregamento vertical atuante. Estruturas com valores elevados de α tendem a apresentar deslocamentos laterais significativos sob ação de cargas horizontais, indicando uma maior sensibilidade aos efeitos de segunda ordem. Esta sensibilidade pode ser reduzida através do aumento da rigidez lateral

da estrutura, seja pela modificação da geometria dos elementos estruturais, pela adição de elementos de contraventamento ou pela redistribuição das cargas verticais.

O coeficiente γ_z , proposto por Franco e Vasconcelos (1991), surge como uma alternativa ao parâmetro α , visando superar algumas de suas limitações. Este coeficiente representa a amplificação dos esforços de primeira ordem para obtenção dos esforços finais, considerando os efeitos de segunda ordem. Sua formulação baseia-se na teoria de segunda ordem simplificada, considerando que os deslocamentos horizontais são proporcionais aos momentos atuantes na estrutura. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), o coeficiente γ_z é calculado pela equação 2.

$$\gamma_z = 1 / (1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}) \quad (1)$$

Onde $\Delta M_{tot,d}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais dos respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de primeira ordem; e $M_{1,tot,d}$ é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura (ABNT, 2023). Esta expressão fornece uma medida direta da amplificação dos esforços devido aos efeitos de segunda ordem, permitindo uma avaliação mais precisa da estabilidade global da estrutura.

Uma vez confirmada, por meio desse parâmetro, a necessidade de considerar os efeitos globais de segunda ordem, o γ_z também pode ser utilizado para a obtenção dos esforços finais de dimensionamento, desde que seu valor não ultrapasse 1,30. Nessa faixa, a NBR 6118 admite o emprego de um método simplificado, no qual os esforços globais de segunda ordem são estimados a partir de uma nova análise de primeira ordem, com as ações horizontais de projeto majoradas por $0,95\gamma_z$ para a combinação de carregamento em estudo. Quando o valor de γ_z excede esse limite, entretanto, o procedimento simplificado deixa de ser recomendado, exigindo a adoção de métodos mais precisos para avaliação da estabilidade global.

Oliveira (2002) destaca que o coeficiente γ_z apresenta diversas vantagens em relação ao parâmetro α . Além de fornecer uma estimativa direta da amplificação dos esforços, o coeficiente γ_z é mais sensível às características específicas da estrutura, como a distribuição de rigidez e a configuração do carregamento. Isto permite uma avaliação mais precisa da

estabilidade global, especialmente em estruturas com geometria complexa ou distribuição irregular de rigidez. Além disso, o coeficiente γ_z pode ser utilizado como um majorador dos esforços horizontais de primeira ordem para estimar os esforços finais, incluindo os efeitos de segunda ordem, simplificando significativamente a análise estrutural.

CAPÍTULO 3 METODOLOGIA

Segundo Kitchenham (2007), uma revisão sistemática da literatura (RSL) é conduzida por meio de protocolos previamente definidos, que especificam os critérios de busca, seleção e avaliação dos estudos, garantindo rastreabilidade, reprodutibilidade e imparcialidade no processo de investigação científica.

Neste trabalho, utilizou-se a ferramenta *online* Parsifal, que, segundo Freitas (2020), é uma plataforma voltada à gestão de revisões sistemáticas, permitindo planejar, organizar e documentar todas as etapas da pesquisa. O sistema possibilita criar protocolos de busca, definir critérios de inclusão e exclusão, e realizar a avaliação da qualidade dos estudos, assegurando maior rigor metodológico ao processo.

A ferramenta também possibilita a elaboração automática da string de busca a partir do modelo PICOC (*Population* – população; *Intervention* – intervenção; *Comparison* – comparação; *Outcome* – resultado; *Context* – contexto). Além disso, essa abordagem é adotada nos trabalhos de Kitchenham, sendo utilizado como referência metodológica no contexto das revisões sistemáticas da literatura. Com esse modelo, foram definidos os termos relacionados ao coeficiente gama-z e às estruturas de concreto armado, os quais foram combinados por meio de operadores booleanos (AND, OR) para ampliar e refinar os resultados da pesquisa bibliográfica.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O processo de coleta de dados foi realizado nas seguintes bases de dados: Scopus, SciELO, Periódicos da CAPES e Web of Science. Após a execução das buscas, os registros encontrados foram importados para o Parsifal, onde foram eliminadas as duplicatas e aplicados os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, permitindo a seleção final dos estudos mais relevantes ao tema. Foram considerados:

- Trabalhos que apresentassem análises teóricas ou numéricas relacionadas ao coeficiente γ_z (inclusão);
- Artigos publicados em periódicos científicos ou trabalhos acadêmicos completos, disponíveis integralmente nas bases de dados Scopus, Web of Science e SciELO (inclusão);

- Trabalhos que tratassem de instabilidade em estruturas metálicas, mistas ou de madeira, bem como capítulos de livros, anais de eventos, resumos expandidos ou materiais sem rigor metodológico (exclusão);
- Estudos duplicados encontrados em mais de uma base de dados foram excluídos para evitar a contagem repetida de publicações durante a etapa de análise (exclusão).

3.2 STRING DE BUSCA

Após o preenchimento das informações e a definição do tema na plataforma Parsifal, foi gerada automaticamente uma *string* de busca inicial com base nos dados inseridos no modelo PICOC. Essa *string* utilizou os operadores booleanos, que permitem combinar ou ampliar termos na pesquisa, e foi estruturada da seguinte forma: ("estruturas de concreto armado" OR "coeficiente γz " OR " γz coefficient"). Essa configuração apresentou resultados satisfatórios no Portal de Periódicos da CAPES, retornando publicações diretamente relacionadas ao tema.

No entanto, durante a execução da pesquisa na base Elsevier Scopus, Web of Science e SciELO, verificou-se uma limitação na recuperação de resultados relevantes, possivelmente em razão de diferenças nos algoritmos de indexação dessas bases e dos conteúdos disponíveis. Para contornar essa restrição, foi elaborada uma *string* de busca alternativa, composta exclusivamente pelos termos combinados com o operador OR, definida como: (" γz coefficient" OR "gamma-z coefficient").

As buscas foram conduzidas nas bases de dados vinculadas à área de Engenharia, aplicando-se os filtros disponíveis em cada plataforma para refinar os resultados. Esse procedimento garantiu a recuperação de publicações mais relevantes e diretamente relacionadas ao tema, evitando que estudos potencialmente importantes fossem excluídos do processo de coleta.

Para todas as bases, adotou-se um período de busca de 20 anos. Essa delimitação temporal se justifica pelo fato de que o coeficiente γz foi incorporado à NBR 6118 na revisão de 2003, o que impulsionou o surgimento de pesquisas voltadas à análise da estabilidade global. Assim, o recorte estabelecido assegura a inclusão dos trabalhos mais representativos e alinhados ao desenvolvimento contemporâneo do tema.

Além disso, é importante destacar que a delimitação adequada das palavras-chave representa um aspecto fundamental para a eficiência do processo de busca. Verificou-se, por exemplo, que uma *string* composta apenas pelo termo “estabilidade global” resultou em um número expressivo de publicações, incluindo diversos estudos que tratavam de assuntos não diretamente relacionados ao concreto armado, como instabilidade em estruturas metálicas. Também foi observado que os estudos que tratavam especificamente do coeficiente γ_z já estavam incluídos entre os resultados obtidos com o operador “estabilidade global”.

3.3 CONDUÇÃO

A etapa de coleta foi realizada diretamente no ambiente do Parsifal, onde foram reunidos os 33 estudos retornados pelas buscas. Esse conjunto inclui trabalhos provenientes das diferentes bases: Web of Science, SciELO, Scopus e Portal de Periódicos da CAPES. Após a importação, o *software* executa automaticamente a verificação e combinação dos registros, possibilitando remover entradas duplicadas e organizar o material para as fases seguintes de leitura e triagem.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os principais resultados obtidos a partir da revisão sistemática da literatura sobre o coeficiente γ_z em estruturas de concreto armado. Inicialmente, são sintetizados os dados quantitativos da produção acadêmica identificada nas bases de dados selecionadas, seguido da descrição do processo de triagem e seleção dos estudos. Na sequência, os trabalhos incluídos são analisados de forma mais detalhada, à luz dos eixos temáticos definidos para esta pesquisa.

4.1 RESUMO DOS ARTIGOS

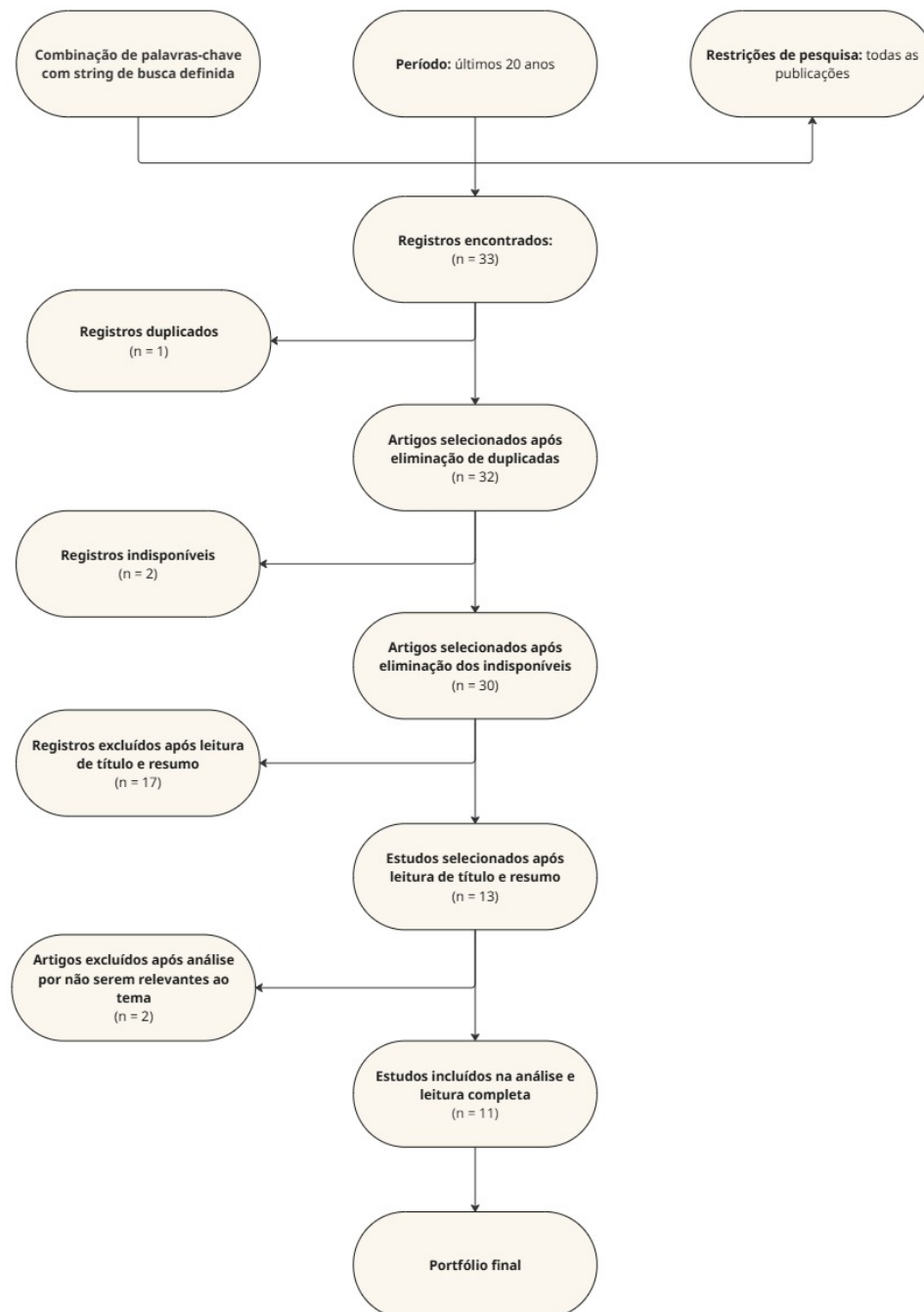
Das 33 publicações identificadas, 1 estudo foi localizado na Web of Science, 5 na SciELO, 20 na Scopus e 7 no Portal de Periódicos da CAPES. As buscas foram realizadas em 10/10/2025 e abrangem todas as categorias de estudos. A Tabela 4.1 apresenta a categorização das publicações identificadas nas bases de dados selecionadas e a . A Figura 4.1 mostra o procedimento geral dos arquivos selecionados utilizando um fluxograma.

Tabela 4.1 - Distribuição das publicações por base de dados

Base de dados	Quantidade de estudos	Data
Web of Science	1	10/10/2025
SciELO	5	10/10/2025
Scopus	20	10/10/2025
Portal de Periódicos da CAPES	7	10/10/2025
Total	33	-

Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 4.1 – Fluxograma do Processo de Condução da Revisão Sistemática



Fonte: Autoria própria (2025)

Com base nos resultados obtidos, observa-se que a string de busca aplicada nas diferentes bases foi eficaz, exceto para a base de dados Scopus, permitindo identificar publicações alinhadas ao tema central da pesquisa. Entre os 33 estudos inicialmente recuperados, 17 apresentavam completa desconexão com o escopo proposto, todos provenientes da base Scopus. Esses trabalhos foram excluídos por abordarem temáticas não

relacionadas à instabilidade global de estruturas de concreto armado ou ao coeficiente γ_z . Além disso, verificou-se a existência de 1 registro duplicado e 2 publicações indisponíveis para leitura completa no momento da análise, os quais poderiam ter ampliado a discussão caso estivessem acessíveis. Outros 2 estudos foram excluídos conforme os critérios previamente estabelecidos no Parsifal, por tratarem de estruturas mistas de aço e concreto, não contempladas nesta revisão.

Embora parte do material esteja redigida em língua estrangeira, verificou-se que todos os trabalhos foram desenvolvidos por autores brasileiros e possuem vínculo com instituições nacionais. Ressalta-se ainda que não foram identificados estudos do tipo monografia ou trabalho de conclusão de curso, bem como artigos publicados em congressos. O quadro 4.1 apresenta os artigos escolhidos para estudo.

Quadro 4.1 - Artigos escolhidos para estudo

Autor		Título	Fonte	Ano
1	Daniel de Lima Araújo, M. A. Ferreira, Mounir Khalil El Debs	Estabilidade global de estruturas reticuladas em concreto pré-moldado: influência da plastificação da ligação	Revista Sul-americana de Engenharia Estrutural	2008
2	Oliveira, D. M., Silva, N. A., Bremer, C. F., Inoue, H.	Considerations about the determination of γ_z coefficient	Revista IBRACON de Estruturas e Materiais	2013
3	Oliveira, D. M., Silva, N. A., Oliveira, P. M., Ribeiro, C. C.	Evaluation of second order moments in reinforced concrete structures using the γ_z and B2 coefficients	Revista IBRACON de Estruturas e Materiais	2014
4	Hadam Richard Silva Leite Lemes, Cláudio Cruz Nunes	Avaliação do Coeficiente γ_z em Situação Estrutural Próxima do Seu Limite de Aplicação	ES Engenharia e Ciência	2017
5	Cunha, R. N., Mendes, L. A., Amorim, D. L. N. F.	Proposal of a simplified criterion to estimate second order global effects in reinforced concrete buildings	Revista IBRACON de Estruturas e Materiais	2020

6	Caçula Maria dos Santos Silva, Cláudio Cruz Nunes	Aplicação do coeficiente γ_z em um edifício de concreto armado com variações das seções transversais dos pilares	ES Engenharia e Ciência	2020
7	João Paulo Reis Menezes, Camila de Sousa Vieira, David Leonardo Nascimento de Figueiredo Amorim	Relação entre os coeficientes α e γ_z para edifícios altos de concreto armado e alvenaria estrutural	Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB	2020
8	Andrade, Rodrigo Bezerra, Nóbrega, Petrus Gorgônio Bulhões da	Second-order torsion effects in concrete buildings	Revista IBRACON de Estruturas e Materiais	2021
9	Stefani Caroline De Oliveira, José Eduardo Quaresma, Gerson De Marco	Análise de segunda ordem em pilares de concreto armado	RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar	2022
10	Maiara Feliciano dos Santos, Danilo Pereira dos Santos	Avaliação da influência da corrosão na estabilidade global de pilares em concreto armado	Revista ALCONPAT	2022
11	Cunha, Rafael Nunes da, Vieira, Camila de Sousa, Gomes, Rainara Souza, Silva, Ludmila dos Santos da, Mendes, Ludmilson Abritta, Amorim, David Leonardo Nascimento de Figueiredo	Global second order effects in reinforced concrete buildings: simplified criterion based on Galerkin's method	Revista IBRACON de Estruturas e Materiais	2024

Fonte: Autoria própria (2025)

- **Considerações sobre a determinação do coeficiente γ_z** (Oliveira et al., 2013). O estudo compara os coeficientes γ_z e B_2 e que há forte correlação entre ambos na avaliação dos efeitos de segunda ordem.
- **Estabilidade global de estruturas reticuladas em concreto pré-moldado: influência da plastificação da ligação** (Daniel et al., 2008). O estudo avalia a estabilidade global de pórticos pré-moldados considerando ligações semi-rígidas e analisa como a plastificação e a rigidez dessas ligações influenciam o coeficiente γ_z .
- **Avaliação de momentos de segunda ordem em estruturas de concreto armado usando os coeficientes γ_z e B_2** (Oliveira et al., 2014). O artigo propõe um método

simplificado para estimar efeitos de segunda ordem em edifícios de concreto armado usando os coeficientes γ_z e B_2 , mostrando boa correlação entre eles e erro inferior a 5% nas análises.

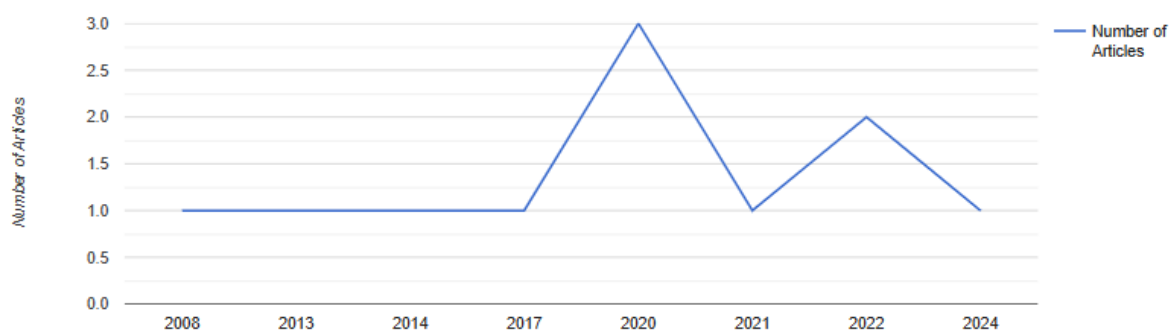
- **Efeitos globais de segunda ordem em estruturas de concreto armado: critério simplificado com base no Método de Galerkin** (Cunha et al., 2024). O estudo propõe um novo parâmetro simplificado, deduzido pelo Método de Galerkin por Resíduos Ponderados, para estimar efeitos globais de segunda ordem em edifícios de concreto armado.
- **Proposta de critério simplificado para estimar efeitos de segunda ordem em edifícios de concreto armado** (Cunha, et al., 2020). O estudo apresenta um novo parâmetro simplificado para a avaliação dos efeitos globais de segunda ordem em edifícios de concreto armado, deduzido pelo Método de Galerkin via Resíduos Ponderados. Foram analisados 21 pórticos planos com pilar-parede, verificando-se a precisão do parâmetro em comparação com análises globais de segunda ordem e com o coeficiente γ_z da NBR 6118 (ABNT, 2014). Os resultados mostraram boa acurácia, inclusive para casos em que $\gamma_z > 1,30$, indicando que o critério proposto permanece eficiente mesmo fora da faixa usual de aplicação do coeficiente normativo.
- **Efeitos de torção de segunda ordem em edifícios de concreto** (Andrade e Nóbrega, 2021). O artigo analisa a limitação do coeficiente γ_z para representar efeitos de segunda ordem associados à torção e resgata o coeficiente γ_θ , criado especificamente para avaliar rotações globais. Sete edifícios, regulares e irregulares, foram analisados sob diferentes ações torsionais, comparado γ_θ ao método P- Δ . Os resultados mostraram boa precisão do γ_θ (erros entre 1,7% e 10,6%), evidenciando sua eficiência como critério simplificado e a insuficiência do γ_z para captar efeitos torsionais relevantes.
- **Relação entre os coeficientes α e γ_z para edifícios altos de concreto armado e alvenaria estrutural** (Menezes et al., 2020). O estudo analisa a correlação entre os parâmetros simplificados α e γ_z usados para avaliar efeitos globais de segunda ordem, propondo uma formulação analítica geral baseada no comportamento de uma barra vertical engastada. Foram utilizados dados de 30 edifícios de concreto armado e 22 de alvenaria estrutural para ajustar o modelo, demonstrando que a equação proposta reproduz com boa precisão os valores reais de projeto e unifica, em uma única expressão, as relações previamente obtidas de forma empírica na literatura.

- **Avaliação da influência da corrosão na estabilidade global de colunas em concreto armado** (M. F. Santos D e D. P. Santos, 2021). O estudo investiga como a corrosão das armaduras afeta a estabilidade global de colunas de concreto armado, utilizando modelos numéricos em elementos finitos que incorporam dano, não linearidades física e geométrica. São comparados resultados de análises $P-\Delta$ com o coeficiente γ_z da NBR 6118 (ABNT, 2014), avaliando diferentes níveis de corrosão e classes de concreto. Concluiu-se que a corrosão reduz a rigidez e intensifica os esforços globais de segunda ordem, embora, em situações críticas, a ruptura da seção possa ocorrer antes da perda de estabilidade. O trabalho também indica que a redução de rigidez normativa é segura para os níveis avaliados, mas que efeitos reológicos combinados com corrosão podem levar a configurações além dos limites previstos pela norma.
- **Análise de segunda ordem em pilares de concreto armado** (Oliveira et al., 2021). O estudo avalia a influência das ações do vento na estabilidade global de estruturas de concreto armado, analisando como o posicionamento dos pilares afeta a rigidez do sistema. São empregados o parâmetro de instabilidade α e o coeficiente γ_z para verificar a necessidade de considerar efeitos globais de segunda ordem decorrentes de deslocamentos horizontais e imperfeições geométricas. Os resultados mostram que o arranjo dos pilares desempenha papel decisivo na estabilidade, permitindo identificar configurações que aumentam a rigidez e reduzem a relevância dos efeitos globais de segunda ordem.
- **Avaliação do coeficiente γ_z em situação estrutural próxima do seu limite de aplicação** (Lemes & Nunes, 2017). O estudo analisa a precisão do coeficiente γ_z da NBR 6118 em um edifício de concreto armado com baixa rigidez lateral, submetido a deslocamentos horizontais significativos. Os autores comparam o Processo Simplificado (γ_z) ao Processo Rigoroso de análise não linear geométrica, utilizando os softwares SALT-NLG e SALT-UFRJ. Os resultados indicam boa concordância para deslocamentos e esforços de cisalhamento, mas diferenças superiores ao limite normativo para esforços de flexão, mostrando que, em estruturas próximas ao limite de aplicação, o coeficiente γ_z pode não representar adequadamente os efeitos globais de segunda ordem. O estudo alerta projetistas sobre o uso criterioso do método simplificado em edifícios de baixa rigidez.

4.2 ANÁLISE DOS DADOS EXTRAÍDOS

Após a seleção dos estudos e a avaliação da qualidade, foi possível identificar a distribuição temporal das publicações, conforme apresentado na Figura 4.2 gerada automaticamente pela ferramenta Parsifal. Verifica-se um crescimento expressivo no volume de pesquisas produzidas na última década. Além disso, mais de 70% dos estudos foram publicados nesse intervalo, o que evidencia a atualidade do tema na literatura científica e o crescente interesse da comunidade acadêmica na área.

Figura 4.2 - Distribuição anual de artigos identificados na RSL



Fonte: Autoria própria (2025)

Após a etapa de seleção e leitura completa, os estudos incluídos na revisão foram organizados em dois eixos temáticos, de acordo com o enfoque principal de cada trabalho em relação à avaliação da estabilidade global e ao uso do coeficiente γ_z em edifícios de concreto armado:

- Eixo 1 - Aplicabilidade e confiabilidade do coeficiente γ_z ;
- Eixo 2 - Propostas de novos parâmetros simplificados análogos ao γ_z .

4.2.1 Aplicabilidade e confiabilidade do γ_z

O primeiro eixo aborda, de forma direta, a confiabilidade do uso do coeficiente γ_z dentro dos limites prescritos pela NBR 6118:2023, especialmente na vizinhança do valor limite de 1,30. De modo geral, os resultados do processo simplificado normativo, que emprega o coeficiente γ_z para a majoração das ações horizontais, são comparados com análises de segunda ordem mais rigorosas, fundamentadas em modelos com não linearidade geométrica e, eventualmente, física.

De forma recorrente para estruturas com γ_z próximo de 1,3, o procedimento simplificado tende a subestimar ligeiramente os esforços fletores finais, ainda que os erros médios se mantenham em faixas consideradas aceitáveis do ponto de vista normativo. Em edificações reais com lajes nervuradas, pequena variação de planta entre pavimentos e comportamento global semelhante nas duas direções principais, os estudos apontam que o critério continua operacional, mas exigindo maior cautela por parte do projetista, que passa a ter indicação clara de quando é mais prudente recorrer a uma análise de segunda ordem rigorosa.

Os resultados desse eixo reforçam a interpretação de que, embora o coeficiente γ_z seja adequado como indicador da estabilidade global e como ferramenta de verificação preliminar, sua utilização como único meio para a estimativa dos esforços finais em situações-limite requer análise crítica, especialmente em estruturas mais esbeltas ou com valores de γ_z muito próximos ao limite superior de aplicação.

4.2.2 Propostas de novos parâmetros simplificados análogos ao γ_z

O segundo eixo contempla os estudos que propõem novos parâmetros simplificados, construídos de forma análoga ao γ_z , mas deduzidos por abordagens teóricas diferentes, com destaque para o uso do Método de Galerkin via Resíduos Ponderados. Nesses trabalhos, os autores partem de um modelo equivalente de edifício representado por uma barra vertical submetida a cargas axiais e laterais e, a partir da solução aproximada do problema em forma fraca, obtêm expressões fechadas para a razão entre momentos ou deslocamentos de primeira e de segunda ordem.

O parâmetro ζ_g (zeta g), por exemplo, é formulado de modo a ter mesma aplicabilidade prática do γ_z , permitindo que os efeitos globais de segunda ordem sejam estimados multiplicando-se as ações horizontais por um fator único e realizando-se novamente uma análise linear. A diferença é que os coeficientes de correção são calibrados estatisticamente com base em análises de segunda ordem realizadas em um grande conjunto de pórticos planos e sistemas duplos, comparando deslocamentos e esforços com resultados de referência obtidos em programas com não linearidade geométrica. O ζ_g apresenta erros menores que o γ_z , tanto para deslocamentos quanto para esforços internos, inclusive em faixas de γ_z acima de 1,30, nas quais o uso do coeficiente normativo deixa de ser recomendado.

Os resultados desse eixo indicam uma tendência da literatura em refinar ou substituir o γ_z por parâmetros com base teórica mais consistente e calibração estatística, mantendo, porém, a filosofia de um fator global simples, compatível com a prática de projeto.

CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática da literatura possibilitou reunir e analisar a produção científica relacionada à estabilidade global de edificações em concreto armado, com ênfase no coeficiente γ_z e em sua utilização como método simplificado para estimativa dos efeitos globais de segunda ordem. A partir do conjunto de estudos selecionados, verificou-se que as publicações da área se concentram principalmente em duas linhas de investigação: análises que discutem a confiabilidade e os limites de aplicação do γ_z ; e pesquisas que apresentam propostas metodológicas ou novos coeficientes destinados a aprimorar a avaliação dos efeitos globais de segunda ordem.

De modo geral, os trabalhos analisados convergem no entendimento de que, embora o γ_z seja amplamente empregado na prática estrutural brasileira e apresente bom desempenho em edifícios regulares, a sua precisão pode ser sensivelmente reduzida quando a estrutura apresenta assimetrias, distribuição irregular de rigidez e elementos esbeltos. Nessas situações, diversos autores destacam limitações do parâmetro, reforçando a pertinência de abordagens complementares como o Método de Galerkin.

A revisão também permitiu identificar lacunas relevantes no estado da arte. Embora a maior parte dos estudos seja relativamente recente, apenas o trabalho de Cunha (2024) foi desenvolvido já considerando a versão atualizada da NBR 6118, o que reforça a necessidade de novas investigações alinhadas ao texto normativo vigente. Observa-se ainda que a influência da torção como efeito global de segunda ordem, embora amplamente reconhecida na literatura, permanece pouco investigada.

Quanto às limitações desta revisão, destaca-se que a estratégia de busca foi conduzida nas bases Scopus, Web of Science, SciELO e ao Portal de Periódicos da CAPES, selecionadas por apresentarem critérios rigorosos de indexação e revisão por pares. Deliberadamente, não foi incluído o Google Acadêmico como fonte primária de busca. Embora a plataforma apresente cobertura ampliada, diversos autores apontam limitações importantes para sua utilização em revisões sistemáticas, como a falta de transparência em seus algoritmos, a dificuldade de reproduzir estratégias de busca e a presença significativa de literatura cinzenta e material não revisado, fatores que podem comprometer a confiabilidade metodológica (Gusenbauer; Haddaway, 2020). Entretanto, verificou-se que o Google Acadêmico concentra um número expressivo de estudos relevantes que não são formalmente publicados em

periódicos científicos, evidenciando uma limitação na disseminação dessas pesquisas e uma perda de potencial para a consolidação do conhecimento na área.

Diante das lacunas observadas, recomenda-se que trabalhos futuros ampliem o escopo das bases consultadas, bem como revisões que abordem outros parâmetros de instabilidade além do γz como, por exemplo, o parâmetro α e ζg . Sugere-se também a realização de estudos utilizando modelos tridimensionais e análises não lineares mais robustas, aproximando-se do comportamento real das estruturas. Investigações experimentais, ainda pouco desenvolvidas, também podem contribuir para uma validação mais consistente dos parâmetros simplificados utilizados no projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO - PROCEDIMENTO: REFERÊNCIAS**. Rio de Janeiro, p. 238. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

ANDRADE, Rodrigo Bezerra; NÓBREGA, Petrus Gorgônio Bulhões da. **Second-order torsion effects in concrete buildings**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, v. 14, n. 1, 2021.

ARAÚJO, Daniel de Lima; FERREIRA, Marcelo Arauj; DEBS, Mounir Khalil el. **Estabilidade global de estruturas reticuladas em concreto pré-moldado: influência da plastificação da ligação**. Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural, Passo Fundo, v. 3, n. 2, p. 85-102, maio/ago. 2006.

ARAÚJO, José Milton de. **Avaliação do parâmetro de instabilidade para os edifícios altos**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.15, 2010.

BUENO, M. M. E. (2009). **Avaliação dos Parâmetros de Instabilidade Global em Estruturas de Concreto Armado**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-002A/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 88 p.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. Rio de Janeiro: Pini, 2009.

COSTA, Emanuella Borges da; VIEIRA, Jackelyne Santos Gomes; SANTOS, Jerlane Ribeiro dos. **Estudo comparativo entre o sistema construtivo a seco (steel frame) e alvenaria comum**. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA (CONTECC), 2019, Palmas.

Cunha RN da, Vieira C de S, Gomes RS, Silva L dos S da, Mendes LA, Amorim DLN de F. **Efeitos globais de segunda ordem em edifícios de concreto armado: critério simplificado baseado no método de Galerkin**. Rev IBRACON Estrut Mater [Internet]. 2024;17(6):e17603

CUNHA, R. N.; MENDES, L. A.; AMORIM, D. L. N. F. **Proposal of a simplified criterion to estimate second order global effects in reinforced concrete buildings**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 200-211, abr. 2020

FRANCO, M.; VASCONCELOS, A. C. **Practical Assessment of Second Order Effects in Tall Buildings**. In: Colóquio on the CEB-FIP MC90, Rio de Janeiro, 1991. Proceedings, p. 307-323.

FREITAS, V. S. **Parsifal**. 2020. Disponível em: <https://vitorfs.com/projects/parsifal/> Acesso em 20 jun. 2022.

GUSENBAUER, M.; HADDAWAY, N. R. **Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? Evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed, and 26 other resources.** Research Synthesis Methods, v. 11, n. 2, p. 181-217, 2020.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais.** 1 o Ed. São Paulo: Editora PINI LTDA, 2007.

KIRSTEN, André Egon. **Principais métodos de cálculo dos efeitos de segunda ordem local em pilares.** AltoQi Blog, 10 jan. 2017 (atualizado em 13 mar. 2024). Disponível em: <https://blog.altoqi.com.br/estrutural/efeitos-de-segunda-ordem-local-em-pilares>. Acesso em: 16 nov. 2025.

LABURÚ, C. E.; ALMEIDA, C. J. **Lei de Hooke: uma comparação entre sistemas lineares.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 15, n. 1, p. 71-81, 1998.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LEMES, Hadam Richard Silva Leite; NUNES, Cláudio Cruz. **Avaliação do Coeficiente γ_z em Situação Estrutural Próxima do Seu Limite de Aplicação.** E&S Engineering and Science, Mato Grosso, v. 6, n. 2, p. 33-45, nov. 2017.

LEONHARDT, Fritz. **Dimensionamento de estruturas de concreto.** 6. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1980.

MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos.** 1 o Ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2010.

MENEZES, João Paulo Reis; VIEIRA, Camila de Sousa; AMORIM, David Leonardo Nascimento de Figueiredo. **Relação entre os coeficientes α e γ_z para edifícios altos de concreto armado e alvenaria estrutural.** Revista Principia, João Pessoa, v. 1, n. 51, p. 158-165, 2020.

MONCAYO, Winston Junior Zumaeta. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado.** 2011. 219fls. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2011.

MOREIRA, W. **Revisão de literatura e desenvolvimento científico: conceitos e estratégias para confecção.** Janus, Lorena, ano 1, n. 1, 2º sem. 2004.

OLIVEIRA, D. M. **Parâmetros de instabilidade global das estruturas de concreto armado segundo a nova NBR-6118.** 2002. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

OLIVEIRA, D. M.; SILVA, N. A.; BREMER, C. F.; INOUE, H. **Considerações sobre a determinação do coeficiente γ_z .** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 6, n. 1, p. 75-100, 2013.

OLIVEIRA, D.M.; SILVA, N.A.; OLIVEIRA, P.M.; RIBEIRO, C.C. **Evaluation of second order moments in reinforced concrete structures using the z and B2 coefficients**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 7, n. 3, p. 329-348, jun. 2014.

OLIVEIRA, Stefani Caroline de; QUARESMA, José Eduardo; DE MARCO, Gerson. **Análise de segunda ordem em pilares de concreto armado**. RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar, [s.l.], v. 3, n. 1, dez. 2022.

TELLES, Pedro Carlos Silva. **História da Engenharia no Brasil. Século XX**. Rio de Janeiro: Clavero, 1994.

PINTO, R.S. **Não-linearidade física e geométrica no projeto de edifícios usuais de concreto armado**. 108p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SANTOS, Maiara Feliciano dos; SANTOS, Danilo Pereira dos. **Avaliação da influência da corrosão na estabilidade global de colunas em concreto armado**. Revista ALCONPAT, Mérida, v. 12, n. 3, p. 401-421, set./dez. 2022.

SANTOS, R. E. (2008). **História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. Tese Doutorado em História – Universidade Federal de Minas Gerais.

SILVA, Caçula Maria dos Santos; NUNES, Cláudio Cruz. **Aplicação do coeficiente γ_z em um edifício de concreto armado com variações das seções transversais dos pilares**. E&S Engenharia e Ciência, Mato Grosso, v. 9, n. 3, p. 2-19, out./dez. 2020.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. **O concreto no Brasil: recordes – realizações – história**. São Paulo: Pini, 1992.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. **Origem dos parâmetros de estabilidade Alfa e Gama z**. São Paulo, 1998. 61 p.

WORDELL, F. **Avaliação da instabilidade global de edifícios altos**. 2003. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.