

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

WELLITON DA SILVA DE PAIVA

**TABELAS PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE GAMA-Z A
PARTIR DO f_{ck} , DO F_{Req} . E DO PARÂMETRO ALFA**

JOÃO PESSOA

2020

WELLITON DA SILVA DE PAIVA

**TABELAS PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE GAMA-Z A
PARTIR DO f_{ck} , DO F_{Req} . E DO PARÂMETRO ALFA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal da Paraíba (UFPB), como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. José Marcilio
Filgueiras Cruz

João Pessoa

2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P149t Paiva, Welliton da Silva de.

TABELAS PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE GAMA-Z A PARTIR
DO f_{ck} , DO f_{req} . E DO PARÂMETRO ALFA / Welliton da
Silva de Paiva. - João Pessoa, 2020.
90 f. : il.

Orientação: José Marcílio Filgueiras Cruz.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Estabilidade global. 2. Coeficiente Gama-Z. 3.
Parâmetro Alfa. I. Cruz, José Marcílio Filgueiras. II.
Título.

UFPB/BS/CT

CDU 621(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

WELLITON DA SILVA DE PAIVA

TABELAS PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE GAMA-Z A PARTIR DO f_{ck} , DO F_{req} . E DO PARÂMETRO ALFA

Trabalho de Conclusão de Curso em 02/12/2020 perante a seguinte Comissão Julgadora:

José Marcílio Filgueiras Cruz *José Marcílio Filgueiras Cruz*

Aprovado

nome do professor orientador
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Árildo Valis Ferreira

APROVADO

nome do professor membro 1
Instituição

Carlos A. Jaurino de Sousa

APROVADO

nome do professor membro 2
Instituição

ABSilva

Prof.^a Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo.

Agradeço aos meus pais pelo apoio, pela dedicação, pelos incentivos nas horas difíceis, a todos àqueles que foram meus professores e contribuíram com a minha formação, e também todos os meus amigos que me apoiaram.

Agradeço ao professor José Marcilio Filgueiras Cruz pela paciência, pela orientação e dedicação.

RESUMO

PAIVA, Welliton da Silva de. **TABELAS PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE GAMA-Z A PARTIR DO f_{ck} , DO F_{Req} . E DO PARÂMETRO ALFA.** 2020, 90 pág. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2020.

Com a tendência cada vez maior de se construir edificações mais altas e esbeltas e consequentemente mais sujeitas aos efeitos de instabilidade global, esta tendência está associada, por exemplo, ao valor aquisitivo do espaço para se construir, a sua disponibilidade ou ainda devido às exigências arquitetônicas de projeto, logo com base nos fatores mencionados o autor foca em apresentar uma revisão dos estudos de pesquisadores, das recomendações estabelecidas pelas normas vigentes, acerca dos parâmetros de estabilidade global, de maneira geral ressalta a importância da necessidade de se conhecer o comportamento global da estrutura que é o grande objeto de estudo e para isso a ABNT NBR 6118:2014 recomenda o uso do coeficiente Gama-Z, porém, este apresenta o cálculo mais trabalhoso do que o do parâmetro Alfa que também é recomendado pela norma citada, assim o autor se dedica na apresentação de equações e tabelas que correlacionam e permitem estimar o valor do coeficiente Gama-Z em função do valor do parâmetro de instabilidade Alfa, da resistência característica do concreto a compressão (f_{ck}), e do fator de redução equivalente (f_{Req}).

Palavras-chave: Estabilidade global; Coeficiente Gama-Z; Parâmetro Alfa.

ABSTRACT

PAIVA, Welliton da Silva de. **TABLES FOR CALCULATING THE COEFFICIENT GAMMA-Z FROM f_{ck} , F_{Req} , AND PARAMETER ALPHA.** 2020, 90 pages. Graduation Course in Civil Engineering - Federal University of Paraíba, João Pessoa. 2020.

With the increasing tendency to build taller and slender buildings and consequently more subject to the effects of global instability, this trend is associated, for example, with the purchasing value of the space to be built, its availability or due to the architectural requirements of the project, therefore based on the factors mentioned, the author focuses on presenting a review of the studies of researchers, of the recommendations established by the current regulations, on the parameters of global stability, in general it is important to emphasize that the need to know the Global behavior of the structure is the main object of study and for that, ABNT NBR 6118:2014 recommends the use of the Gamma-Z coefficient, however, it presents a more laborious calculation than that of the Alpha parameter, which is also recommended by the mentioned standard, thus the author is dedicated to presenting equations and tables that correlate and allow estimating the value of the Gamma-Z coefficient as a function of that of the value of the global Stability parameter Alpha, of concrete resistance characteristic to compression (f_{ck}), and of the equivalent reduction factor (f_{Req}).

Key-words: Global stability; Gamma-Z coefficient; Alpha parameter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelos estruturais - pórtico plano e espacial.....	15
Figura 2 - Problema de instabilidade com bifurcação do equilíbrio	16
Figura 3 - Barra submetida à compressão axial	17
Figura 4 - Problema de ponto limite	18
Figura 5 - Problema de segunda ordem	19
Figura 6 - Gráficos tensão x deformação.....	21
Figura 7 - Barra vertical submetida a ações vertical e horizontal	23
Figura 8 - Reações na barra vertical indeformada.....	23
Figura 9 - Reações na barra vertical deformada.....	24
Figura 10 - Valores de α_{lim} de acordo com o contraventamento utilizado	27
Figura 11 - Rigidez equivalente do pórtico.....	28
Figura 12 - Associação plana de painéis.....	29
Figura 13 - Determinação do momento final M.....	32
Figura 14 - Deformadas do pilar e momentos de primeira e segunda ordem e total	33
Figura 15 - Planta de forma do pavimento tipo do edifício Spazio Uno.	80
Figura 16 - Forma do pavimento tipo e definição do SEC da direção Y.....	82
Figura 17 - Fachada principal e lateral	82
Figura 18 - Pórtico do SECy.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para $F_{ck} = 20\text{MPa}$	40
Tabela 2 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para $F_{ck} = 20\text{MPa}$	42
Tabela 3 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para $f_{ck} = 25\text{MPa}$	42
Tabela 4 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para $F_{ck} = 25\text{MPa}$	44
Tabela 5 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para $f_{ck} = 30\text{MPa}$	44
Tabela 6 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para $F_{ck} = 30\text{MPa}$	46
Tabela 7 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para $f_{ck} = 35\text{MPa}$	46
Tabela 8 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para $F_{ck} = 35\text{MPa}$	48
Tabela 9 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para $f_{ck} = 40\text{MPa}$	48
Tabela 10 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para $F_{ck} = 40\text{MPa}$	50
Tabela 11 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para $f_{ck} = 45\text{MPa}$	50
Tabela 12 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para $F_{ck} = 45\text{MPa}$	52
Tabela 13 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para $f_{ck} = 50\text{MPa}$	52
Tabela 14 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para $F_{ck} = 50\text{MPa}$	54
Tabela 15 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 20\text{MPa})$ aproximação quadrática	55
Tabela 16 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 20\text{MPa})$ aproximação cúbica	56
Tabela 17 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 25\text{MPa})$ aproximação quadrática	58
Tabela 18 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 25\text{MPa})$ aproximação cúbica	59
Tabela 19 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 30\text{MPa})$ aproximação quadrática	61
Tabela 20 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 30\text{MPa})$ aproximação cúbica	63
Tabela 21 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 35\text{MPa})$ aproximação quadrática	64
Tabela 22 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 35\text{MPa})$ aproximação cúbica	66
Tabela 23 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 40\text{MPa})$ aproximação quadrática	68
Tabela 24 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 40\text{MPa})$ aproximação cúbica	69
Tabela 25 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 45\text{MPa})$ aproximação quadrática	71
Tabela 26 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 45\text{MPa})$ aproximação cúbica	72
Tabela 27 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 50\text{MPa})$ aproximação quadrática	74
Tabela 28 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 50\text{MPa})$ aproximação cúbica	76
Tabela 29 - Deslocamentos no topo do edifício (EI integral)	80
Tabela 30 - Deslocamentos no topo do edifício (EI reduzido)	80
Tabela 31 - Deslocamentos no topo do pórtico da Figura 18	84

Tabela 32 - Efeito do vento na direção y (vento incidente na fachada maior) ...	85
Tabela 33 - Elementos para o cálculo do $M_{1,tot,d,y}$	85
Tabela 34 - Elementos para o cálculo do $\Delta M_{1,tot,d,y}$	86

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

α	Parâmetro de instabilidade Alfa
γ_z	Coefficiente Gama-Z
$M_{1,tot,d}$	Soma dos momentos das forças horizontais
$\Delta M_{tot,d}$	Soma dos momentos das forças verticais
$A's$	Armadura de compressão, para vigas com armadura dupla.
As	Armadura de tração
e_i	Excentricidade inicial
EI	Rigidez flexional
EI_k	Soma dos valores de rigidez na direção considerada
E_{ci}	Módulo de deformação tangente inicial
E_{cs}	Módulo de elasticidade secante
F_{Req}	Fator de redução equivalente
F_{ck}	Resistência característica do concreto à compressão
H	Altura total da estrutura
I_c	Momento de inércia da seção bruta de concreto
P_{cr}	Carga crítica
ABNT	Associação Brasileira de normas técnicas
NBR	Norma Brasileira Registrada
NLF	Não-Linearidade Física
NLG	Não-Linearidade Geométrica
MPa	Mega Pascal
SEC	Sistema de Contraventamento estrutural
TCC	Trabalho de conclusão de Curso

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Problema de Instabilidade com bifurcação do equilíbrio	16
2.2	Problema de ponto limite	18
2.3	Problema de segunda ordem.....	19
3	CONSIDERAÇÕES SOBRE A NÃO-LINEARIDADE FÍSICA E GEOMÉTRICA	20
3.1	Não-linearidade física	21
3.2	Não-linearidade geométrica	22
4	PARÂMETROS DE INSTABILIDADE	24
4.1	Parâmetro de instabilidade Alfa	25
4.1.1	Considerações sobre a formulação do parâmetro Alfa.....	27
4.2	Coefficiente Gama-Z	31
4.2.1	Considerações sobre a formulação do coeficiente γ_z	32
5	FATORES QUE INFLUENCIAM OS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE.....	36
5.1	Influência da rigidez de cada elemento estrutural	36
5.2	Influência das cargas atuantes	37
5.2.1	Cargas horizontais	37
5.2.2	Cargas verticais.....	37
6	CORRELAÇÕES ENTRE O PARÂMETRO α E O COEFICIENTE γ_z	38
6.1	As equações de correlação entre Alfa e o Gama-Z para concretos C20 até C50.....	40
6.2	Tabelas para obtenção do valor do Gama-Z a partir do valor do Alfa para valores do F_{ck} e do F_{Req}	54
7	APLICAÇÕES	77
7.1	Aplicação 1.....	78
7.2	Aplicação 2.....	81
8	CONCLUSÃO	87

9	REFERÊNCIAS	89
----------	--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente redução de áreas disponíveis para construção nos grandes centros urbanos, aumenta a tendência de readequação dos projetos no sentido de obter um melhor aproveitamento dos espaços disponíveis, esse novo conceito influencia também na disposição dos elementos estruturais, levando a uma necessidade de diminuição do número de pilares para ampliar os espaços, sem abrir mão da durabilidade e segurança, vale ressaltar que, estruturas de concreto armado são altamente utilizadas no mundo devido à sua versatilidade e domínio da execução.

Neste contexto cita-se Guerra *et al.* (2018), destacando que a busca pelo aumento dos vãos e consequente redução do número de pilares tornou-se atualmente uma tendência. Essa tendência se deve a vários fatores entre eles estão à redução de mão-de-obra e a redução da interferência da estrutura na concepção arquitetônica, porém, isto só é possível graças ao avanço tecnológico de pesquisas para a elaboração de programas computacionais que possibilitam ao projetista analisar as estruturas e obter maior precisão, e também das pesquisas de novos materiais.

A verificação da estabilidade de uma estrutura é um importante requisito na elaboração de projeto de edifícios em concreto armado e foca em garantir a segurança da estrutura diante da perda da capacidade da estrutura resistir causada pelas deformações.

A consideração dos deslocamentos de uma estrutura é objeto de estudo de muitos pesquisadores e o avanço nesta área fornece aos profissionais a possibilidade de se produzir projetos cada vez mais seguros. Um exemplo de mudança é a ABNT NBR 6118, uma vez que as suas versões iniciais não contemplavam uma abordagem detalhada dessa verificação, enquanto que a atual apresenta um capítulo inteiro definindo métodos, parâmetros e coeficientes que determinam a estabilidade global das estruturas.

Considerar as deslocabilidades de uma estrutura e o equilíbrio na forma deslocada também é indispensável para analisar a estabilidade global da estrutura, um tipo de análise que deve ser feita em estruturas onde os deslocamentos laterais são expressivos e imprimem esforços adicionais consideráveis pelo carregamento vertical atuando na configuração deformada, os chamados “efeitos de segunda ordem”. Podem

ser citadas duas grandes ferramentas que auxiliam o projetista neste caso: os parâmetros de instabilidade e com o avanço da tecnologia os programas computacionais para análise estrutural (BUENO, 2009).

Os parâmetros de instabilidade são considerados como “avaliadores da sensibilidade” da estrutura e possibilitam ao projetista analisar a possível necessidade de considerar ou não os efeitos de segunda ordem ainda na fase inicial do projeto atualmente a ABNT NBR 6118:2014, subitem 15.5, recomenda que a avaliação da dispensa dos esforços de segunda ordem seja feita mediante o cálculo e análise dos resultados obtidos para o parâmetro de instabilidade α e o coeficiente γ_z .

1.1 Objetivo

Utilizando como exemplo estruturas de edifícios, que foram efetivamente projetadas, Carmo (1995) fez um amplo estudo que possibilitou correlacionar o parâmetro α ao coeficiente γ_z adotados na época que validavam a verificação da estabilidade das estruturas de concreto armado, e formulou uma relação cúbica entre eles.

O objetivo geral deste TCC é apresentar considerações sobre a formulação, cálculo e utilização do coeficiente γ_z em função de diversos estudos e conclusões apresentados por diversos autores no decorrer do tempo, enquanto o objetivo específico é apresentar novas relações matemáticas que permitam uma avaliação do coeficiente γ_z em função do parâmetro α , que são calculados com base nas recomendações e definições da norma atual, a ABNT NBR 6118:2014.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

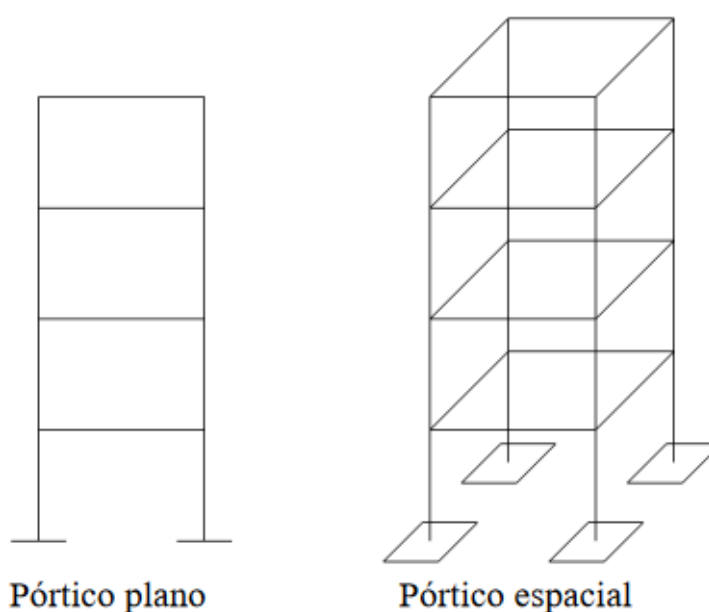
Ao projetar e/ou analisar a estrutura de um edifício algumas simplificações podem e devem ser aplicadas para viabilizar os cálculos a serem realizados. Assim é que o engenheiro projetista de estruturas (o calculista) procura representar de maneira simplificada cada um dos elementos a serem construídos, utilizando os modelos estruturais existentes.

Esta concepção da estrutura envolvendo o modelo de pórticos planos e espaciais (Ver Figura 1), quando devidamente combinados simulam o edifício real, seja em uma

análise computacional (automática) ou manual. São vários os modelos estruturais que podem ser aplicados na concepção estrutural de uma edificação, dos mais simples aos mais complexos, que permitem considerações mais precisas ou simplificadas do caso real. (BUENO, 2009).

Os modelos mais complexos, em geral, procuram representar de maneira mais realista o comportamento físico da estrutura em análise, simulando os efeitos das ações atuantes, das deformações e dos deslocamentos.

Figura 1 - Modelos estruturais - pórtico plano e espacial



Fonte: Bueno (2009, p. 17)

Destaca-se a importância de que a eficiência de uma estrutura passa pela minimização dos custos, concordância com as recomendações e imposições arquitetônicas, a garantia da durabilidade e a segurança necessária em toda a sua vida útil. Em razão disso os engenheiros calculistas devem possuir um extenso conhecimento técnico e teórico considerável que os possibilitem desempenhar seu papel na atividade de analisar as estruturas.

Desse modo, e tendo em vista os desafios cada vez maiores que lhes são impostos, seja devido à esbeltez elevada das edificações modernas, seja devido aos novos materiais e técnicas construtivas, e tendo em vista, também, o problema da instabilidade global, considera-se relevante uma discussão, mesmo que breve, dos

problemas de instabilidade possíveis de ocorrer nas estruturas, como nos elementos estruturais componentes das grandes estruturas.

2.1 Problema de Instabilidade com bifurcação do equilíbrio

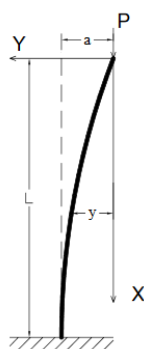
Para uma barra reta (Ver Figuras 2 e 3), sem imperfeições geométricas, constituída por material caracterizado como de comportamento linear e submetida a uma carga axial estática crescente P , a condição de estabilidade será mantida até o ponto em que P atinja o valor crítico P_{cr} , denominado por apenas carga crítica ou carga crítica de flambagem. Quando esta carga crítica é ultrapassada, a configuração inicial passa a ser instável e, ao mesmo tempo, aparecem novas configurações de equilíbrio possíveis.

A carga P_{cr} define um ponto chamado ponto de bifurcação estável, pois após alcançar este limite o equilíbrio bifurca-se em duas possibilidades: uma forma reta, onde estará em equilíbrio instável, e uma forma fletida, que corresponde ao equilíbrio estável (BUENO, 2009).

Para valores de P maiores que o valor crítico e considerando que a forma da barra permaneça reta, a instabilidade desta configuração poderá ser abalada por qualquer perturbação externa ou excentricidade, fatores inevitáveis na prática, seja em um estudo, em laboratório ou principalmente em uma estrutura real, e levará esta a procurar o equilíbrio estável, agora na forma fletida. (BUENO, 2009).

Em princípio, a determinação das flechas relativas a cargas superiores à carga crítica é obtida através da expressão exata da equação diferencial da linha elástica, apresentada na equação (2.1).

Figura 2 - Problema de instabilidade com bifurcação do equilíbrio



Fonte: Bueno (2009, p. 6)

$$\frac{1}{r} = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} = -\frac{M}{EI} \quad \text{Eq. (2.1)}$$

Sendo:

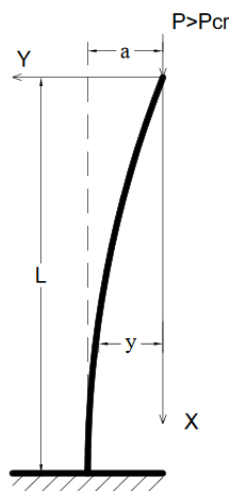
$1/r$ é a curvatura da barra;

EI é a rigidez flexional;

$M = -P \cdot y$ é o momento fletor.

Para a determinação da carga crítica é bastante conveniente adotar a teoria simplificada, levando à linearização das equações de equilíbrio, embora assim fiquem indeterminadas as flechas na configuração fletida. Este procedimento torna-se incompatível para caracterizar o tipo de equilíbrio para $P = P_{cr}$ e para descrever o comportamento da estrutura quando $P > P_{cr}$ (Ver Figura 3).

Figura 3 - Barra submetida à compressão axial



Fonte: Bueno (2009, p. 11)

As hipóteses da teoria simplificada admitidas são as seguintes:

a) As seções transversais ao eixo da barra indeformada, inicialmente planas, permanecem planas e normais ao eixo da barra deformada, desprezando-se assim as deformações por cisalhamento;

b) Os deslocamentos transversais do eixo da barra são pequenos, em relação ao seu comprimento, o que leva a rotações do eixo da barra pequenas em relação à unidade permitindo a seguinte simplificação matemática $\theta = \tan \theta \ll 1$.

Vale ressaltar que essas hipóteses não são rigorosamente válidas, são vastamente utilizadas em análise estrutural de concreto armado e seus resultados são compatíveis com dados experimentais disponíveis.

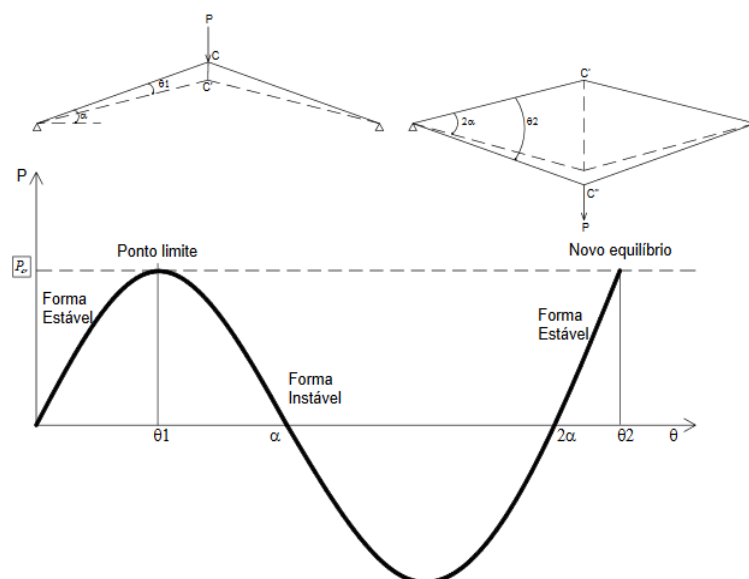
Considerando a teoria simplificada, tem-se a equação (2:2)

$$\frac{1}{r} = \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad \text{Eq. (2.2)}$$

2.2 Problema de ponto limite

Outro problema de instabilidade tratado neste TCC é a condição de Ponto Limite (Ver Figura 4). Essa situação irá ocorrer pela instabilidade na flexão composta, não havendo a bifurcação do equilíbrio.

Figura 4 - Problema de ponto limite



Fonte: Bueno (2009, p. 10)

De maneira geral uma barra de eixo reto, de comportamento elástico linear que será solicitada por um momento externo também crescente até o ponto que o momento resistente, o momento interno da seção não será mais capaz de equilibra-la, provocando a instabilidade da barra em estudo. Se $P < P_{cr}$ a estrutura permanece em equilíbrio estável.

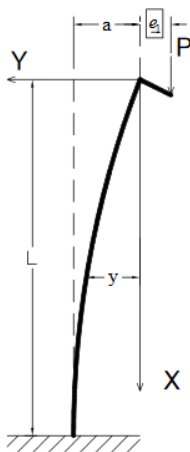
Esse caso pode ser bem retratado através da análise de uma treliça bi-apoiada com ângulo de inclinação obtusa, representada pela Figura 4. Nota-se que o equilíbrio é atingido de forma estável no instante em que a estrutura, ao ser submetida à carga P superior a P_{crit} , passa para uma nova configuração. Quando essa carga crítica é atingida na estrutura com configuração bastante próxima a original, uma instabilidade é provocada.

“Dessa forma, o equilíbrio só é alcançado se a estrutura mudar bruscamente sua configuração original.” MARACAJÁ (2020, p. 17).

2.3 Problema de segunda ordem

Seja uma barra reta esbelta constituída de material de comportamento elástico linear e carregada com excentricidade inicial e_i , de primeira ordem, vide Figura 5. Para valores crescentes de P , a barra toma, desde o início, a forma fletida e haverá sempre uma configuração de equilíbrio, a única possível para cada P . Neste caso não há bifurcação do equilíbrio.

Figura 5 - Problema de segunda ordem



Fonte: Bueno (2009, p. 6)

Enquanto o material permanecer no regime elástico, não haverá problema de instabilidade na flexão composta; a configuração fletida será uma configuração de equilíbrio estável e a ruína será atingida somente por ruptura do material. (CARMO, 1995).

Devido ao fato de existir uma mudança de alinhamento no eixo vertical mostrado na Figura 5 acima assim como nos pilares de um edifício implica na existência de uma excentricidade de aplicação das cargas verticais, o que faz com que os deslocamentos horizontais sejam ainda maiores do que quando da análise é apenas sobre a estrutura indeformada. Assim, quando a análise do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada, surgem os efeitos de 2ª ordem, que se somam aos obtidos numa análise de 1ª ordem, em que a estrutura é calculada na posição geométrica inicial indeformada. (CHINEM, 2010).

No caso da barra constituída de material de comportamento não-linear submetida ao mesmo carregamento descrito acima, sendo ela uma barra curta, tenderá a romper por flexão composta para valores crescentes de P: o aumento da sollicitação é maior que a capacidade resistente da seção que tende a esgotar-se. A carga P atinge um ponto limite sem reversão da configuração inicial da estrutura carregada. (CARMO, 1995).

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A NÃO-LINEARIDADE FÍSICA E GEOMÉTRICA

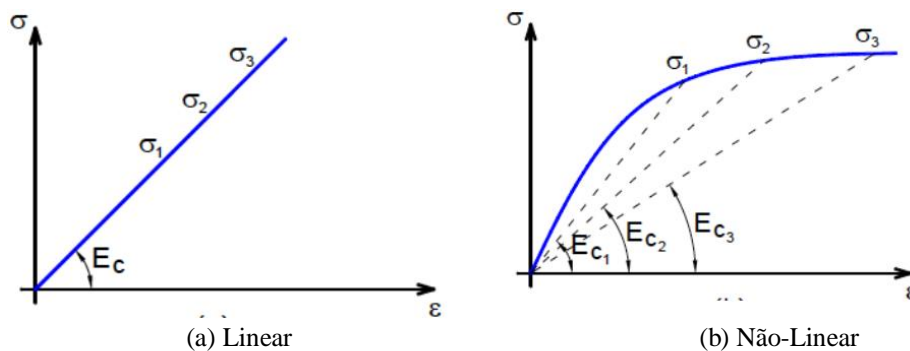
Pode-se considerar de maneira simples que a análise não linear ou de segunda ordem consiste de um cálculo em que a resposta da estrutura, seja ela em deslocamentos, em esforços ou tensões, possui comportamento não linear, ou seja, não se verifica uma proporcionalidade entre as grandezas acima referidas e o carregamento aplicado quando este vai aumentando. Tal comportamento caracteriza as estruturas verticais sollicitadas por ações laterais. No caso dos edifícios de concreto armado submetidos, por exemplo, a ação do vento, este comportamento é facilmente verificável. Portanto, para que a análise estrutural seja a mais realista possível, deve sempre que necessário levar em conta seus efeitos.

“O comportamento não linear é resultado basicamente de dois aspectos que são intrínsecos a todas as estruturas reais em concreto armado: a não-linearidade física (NLF) e a não-linearidade geométrica (NLG).” (BUENO, 2009, p. 22).

3.1 Não-linearidade física

A não-linearidade física (NLF) é o fenômeno correspondente a uma relação de não-proporcionalidade entre a tensão aplicada e a deformação sofrida pelo material. Esse comportamento está ligado à característica não-linear do material, sendo, via de regra, representada nas equações constitutivas ou reologias do dito material.

Figura 6 - Gráficos tensão x deformação



Fonte: Neto (2013; p. 21)

Na Figura 6-a e na Figura 6-b estão apresentados dois gráficos tensão-deformação. A partir da observação do gráfico da Figura 6-a se percebe que a deformação associada a um material de comportamento linear é representada por uma reta e a de um material não-linear (Figura 6-b), é representado por uma curva.

Para simular a perda de rigidez devido a NLF, a ABNT NBR 6118:2014 recomenda a utilização de fatores de redução da rigidez flexional específicos para lajes, vigas e pilares, quando do estudo da estabilidade global. Estes fatores estão indicados no item 15.7.3 da norma mencionada. São eles:

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

E_{ci} – módulo de elasticidade tangente inicial do concreto

I_c – momento de inércia da seção bruta de concreto

A_s – armadura de compressão, no caso de vigas com armadura dupla

A_s – armadura de tração.

Em versões anteriores da norma ABNT NBR 6118, especificamente nas versões dos anos de 2003 e 2007, a redução da rigidez para efeito de análise global poderia ser feita através de um único fator (F_R), igual a 0,70 para vigas e pilares, de modo que a rigidez equivalente seria dada por: $(EI)_{sec} = 0,7 \cdot E_{ci} I_c$. Essa condição seria permitida se a estrutura de contraventamento responsável fosse composta por vigas e pilares e o coeficiente γ_z calculado menor que 1,3.

Porem, não se deve esquecer que os valores de rigidez reduzida da estrutura analisada são aproximados, pois, por exemplo, na realidade não se tem o valor constante de $0,7 \cdot E_{ci} I_c$ ou $0,8 \cdot E_{ci} I_c$ ao longo da altura do edifício ou mesmo para cada lance de pilar da estrutura.

Os lances de pilar possuem diferentes valores de rigidez, em virtude, por exemplo, da redução da seção, mas se adotam tais valores como uma média que simula bem a variação da rigidez dos pilares do edifício como um todo.

Portanto, por esse motivo, são utilizados somente para análise global, e não podem ser usados para uma análise local. (MONCAYO, 2011).

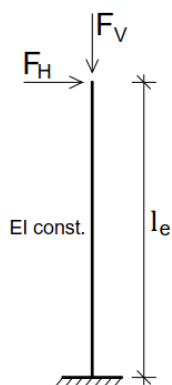
3.2 Não-linearidade geométrica

Quando uma estrutura é calculada na posição de equilíbrio após a ocorrência da deformação está se levando em conta a não-linearidade geométrica NLG, pois os esforços e conseqüentes ações são afetados pelo estado de deformação da estrutura mesmo para os materiais elástico-lineares. Pois a NLG decorre, justamente, da consideração da desproporcionalidade entre causa e efeito, verificada nas estruturas analisadas em configurações deformadas e deslocadas.

Em resumo os efeitos da NLG são determinados quando se analisa a estrutura em sua configuração deformada e deslocada. Para que o conceito da NLG fique claro

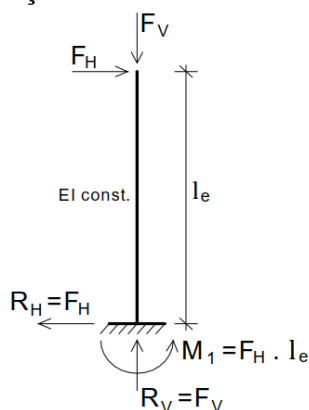
analisa-se a barra engastada-livre com comprimento L_e , rigidez flexional EI constante, submetida a uma força vertical F_V e uma horizontal F_H , como mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Barra vertical submetida a ações vertical e horizontal



Fonte: Moncayo (2011; p. 28)

Figura 8 - Reações na barra vertical indeformada

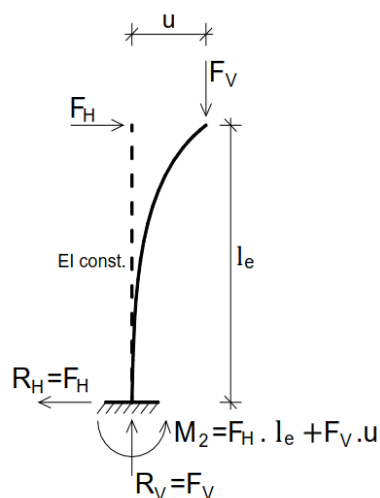


Fonte: Moncayo (2011; p. 29)

Para que a estrutura esteja em equilíbrio em sua configuração indeformada e indeslocada, ou seja, na posição inicial aparecem reações de equilíbrio na base da barra, como mostrado na Figura 8, sendo uma delas o momento fletor de primeira ordem M_1 que recebe esse nome por ser obtido na análise de equilíbrio da barra na configuração indeformada e indeslocada, ou seja, a configuração inicial.

Quando o equilíbrio é considerado na configuração deformada, ou seja, quando a barra está na posição deslocada de um valor u devido à ação horizontal, será gerado um acréscimo de momento na base igual a $\Delta M = F_V \cdot u$, fazendo com que o valor do momento de primeira ordem M_1 aumente, resultando o momento de 1ª ordem mais 2ª ordem, chamado M_2 , que pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 - Reações na barra vertical deformada



Fonte: Moncayo (2011; p. 29)

O acréscimo de momento é denominado “efeito de segunda ordem”, pois foi um esforço que surgiu com a análise do equilíbrio da estrutura na sua posição deformada. Portanto, somente se esse esforço for levado em conta na análise é que a não-linearidade geométrica (NLG) da estrutura estará sendo considerada. (MONCAYO, 2011).

4 PARÂMETROS DE INSTABILIDADE

“A avaliação da estabilidade global de edifícios pode ser realizada mediante o cálculo dos chamados parâmetros de estabilidade. Alguns deles, além de avaliar a estabilidade, podem estimar os efeitos de segunda ordem.” (MONCAYO, 2011, p. 30).

“Sob a ação das cargas verticais e horizontais, os nós da estrutura de um edifício deslocam-se lateralmente. Esses deslocamentos podem, em certos casos, causar o aparecimento de importantes efeitos de segunda ordem.” (CHINEM, 2010, p. 21).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, no item 15.2, os efeitos de segunda ordem podem ser desprezados sempre que não representarem acréscimo superior a 10% nas reações e nas solicitações relevantes da estrutura, ou seja, tais efeitos podem ser desprezados se não representarem acréscimo superior a 10% em relação aos efeitos de primeira ordem, estes como se sabe, são os que surgem quando o equilíbrio da estrutura é estudado na configuração geométrica inicial, ou seja, indeformada. Para efeito de cálculo, as estruturas são consideradas de nós fixos ou de nós móveis em função dos

efeitos globais. São consideradas de nós fixos quando os efeitos globais de segunda ordem são desprezíveis, ou seja, inferiores a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem. São considerados de nós móveis quando os efeitos globais de segunda ordem são importantes, ou seja, superiores a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem e devem ser considerados.

Algumas observações podem ser feitas, por exemplo, as estruturas de nós fixos na realidade não são fixas, ou seja, são deslocáveis, mas possuem deslocamentos horizontais muito pequenos, que podem ser desprezados; e as estruturas de nós móveis são as estruturas que se movimentam lateralmente de forma significativa, seus deslocamentos precisam ser considerados no cálculo dos esforços. (MONCAYO, 2011).

4.1 Parâmetro de instabilidade Alfa

O parâmetro Alfa foi proposto, de acordo com Vasconcelos (1991) citado em Cruz; Ferreira e Lucena (2019; p.94), inicialmente em 1967, por Beck e König.

Este parâmetro de instabilidade foi adotado tendo como objetivo auxiliar o projetista de estruturas na avaliação da deslocabilidade dos edifícios.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, no item 15.5.2, as estruturas reticuladas simétricas podem ser consideradas como sendo de nós fixos se o valor do parâmetro de instabilidade α a ela associado for menor que o valor α_1 , conforme descrito na equação (4.1):

$$\alpha = H \sqrt{\frac{P_k}{E_{cs} I_c}} \quad \text{Eq. (4.1)}$$

Considerando:

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

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

Sendo:

n É o número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

P_k É o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H), com seu valor característico;

H É a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

$E_{CS}I_C$ 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 com pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão $E_{CS}I_C$ de um pilar equivalente de seção constante.

O valor de I_C deve ser calculado considerando as seções brutas dos pilares.

A rigidez do pilar equivalente deve ser determinada da seguinte forma:

a) calcular o deslocamento do topo da estrutura de contraventamento, sob a ação do carregamento horizontal na direção considerada;

b) calcular a rigidez de um pilar equivalente de seção constante, engastado na base e livre no topo, de mesma altura H tal que, sob a ação do mesmo carregamento, sofra o mesmo deslocamento no topo.

O valor-limite $\alpha_1 = 0,6$ prescrito para $n \geq 4$ é, em geral, aplicável às estruturas usuais de edifícios.

Podem-se estabelecer limites diferentes para α , conforme o tipo de contraventamento da estrutura do edifício, uma vez que o contraventamento é o responsável pela forma da linha elástica da estrutura. A deformada da estrutura relaciona-se com o chamado parâmetro de forma ψ , conforme a equação (4.2):

$$\psi = \sqrt{\frac{\delta_1}{\alpha}} \quad \text{Eq. (4.2)}$$

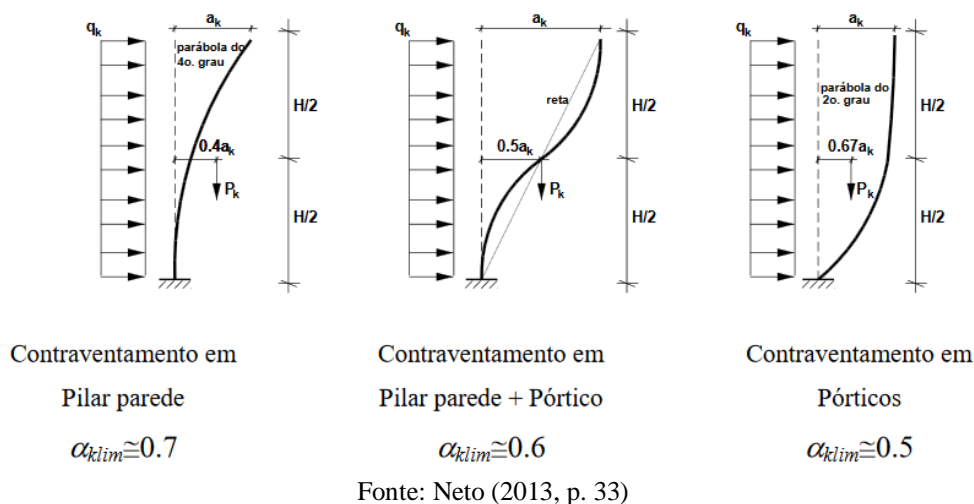
Sendo:

δ_1 É o deslocamento horizontal de primeira ordem no ponto de aplicação da resultante das cargas verticais N .

Então os valores limites para α podem ser obtidos segundo a equação (4.3):

$$\alpha = \sqrt{\frac{2}{11\psi}} \quad \text{Eq. (4.3)}$$

Figura 10 - Valores de α_{lim} de acordo com o contraventamento utilizado



A ABNT NBR 6118:2014, item 15.5.2, sugere adotar os seguintes valores de α_1 para pórticos e possíveis associações no caso de edifícios com mais de três pavimentos

- $\alpha_1 = 0,5$ Quando só houver pórticos
- $\alpha_1 = 0,6$. Associações de pilares-parede e pórticos
- $\alpha_1 = 0,7$. Exclusivamente por pilares-parede

O valor de α é comparado a um valor α_1 , de modo que, se, $\alpha < \alpha_1$ a estrutura é considerada de nós fixos, e se $\alpha \geq \alpha_1$, de nós móveis.

4.1.1 Considerações sobre a formulação do parâmetro Alfa

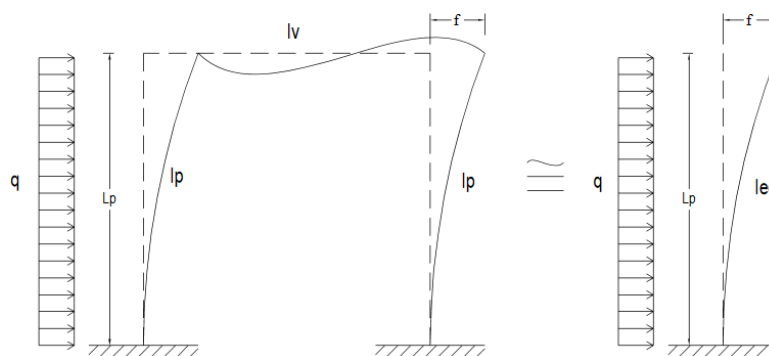
Para a formulação dessa teoria, os autores (Beck e König no ano de 1967) interpretaram a estrutura de um edifício com andares igualmente espaçados como um único pilar engastado na base e livre no topo, submetido a cargas verticais e horizontais distribuídas em toda a sua altura. O módulo de rigidez equivalente do pilar foi considerado igual à soma de todas as rigidezes dos pilares originais pertencentes à

estrutura do edifício, e considerando um comportamento elástico-linear. (MARACAJÁ, 2020)

Para a determinação do valor representativo do módulo de rigidez equivalente, uma opção é verificar o deslocamento do topo do edifício quando submetido a uma ação lateral uniformemente distribuída (Figura 11), segundo um modelo tridimensional (nesse caso propõe-se o uso de programas computacionais para o cálculo da estrutura integrada espacialmente). Associa-se, então, à estrutura a um elemento linear (pilar) de seção constante, engastado na base e livre no topo, com altura igual a do edifício que, sujeito à mesma ação, apresente deslocamento idêntico. Isso é feito considerando a linha elástica do elemento linear de seção constante, (CHINEM, 2010).

Segundo Cruz, Ferreira e Lucena (2019), como, em geral, o carregamento horizontal atuante em uma edificação é distribuído em suas fachadas, portanto, ao longo da altura dos elementos do SEC.

Figura 11 - Rigidez equivalente do pórtico



Fonte: Bueno (2009, p.24)

Considerando que a deformada de um elemento estrutural é diferente para carregamentos diferentes, então, a inércia equivalente pode ser calculada com maior aproximação, utilizando-se um carregamento distribuído unitário. Na Figura 11 que ilustra o procedimento, o carregamento aplicado é chamado de q .

Calculando o deslocamento horizontal característico f do topo do edifício sob a ação de carga lateral característica e igualando ao deslocamento do topo de um pilar equivalente em balanço com altura H igual à da edificação e de rigidez EI_k constante, sob a ação de uma mesma carga q_k constante, pode-se relacionar a seguinte equação (Equação 4.4).

$$f = \frac{qH^4}{8EI_k} \quad \text{Eq. (4.4)}$$

Isolando a rigidez EI_k , obtém-se o valor equivalente.

$$EI_k = \frac{qH^4}{8f} \quad \text{Eq. (4.5)}$$

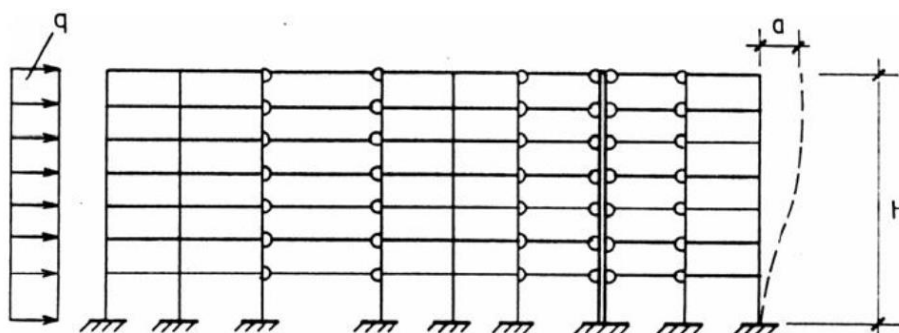
O parâmetro α fica assim definido como:

$$\alpha = H \sqrt{\frac{P_k}{EI_k}} \quad \text{Eq. (4.6)}$$

Uma segunda opção para a estimativa do módulo de rigidez equivalente é a consideração do chamado pórtico trezinho.

O processo consiste na associação plana de painéis, do mesmo modo como se procede para a determinação dos esforços solicitantes no edifício quando submetido a ações horizontais. Todos os pórticos e pilares-parede que contribuem para o contraventamento na direção analisada são posicionados sequencialmente em um plano, e interligados em cada pavimento por barras rotuladas em suas extremidades, as quais simulam a presença das lajes atuando como um diafragma rígido. Essas barras rotuladas devem ser consideradas no modelo com elevada área de seção transversal, e pequeno comprimento para que não ocorra deformação axial nas mesmas, o que ocasionaria deslocamentos diferentes ao longo de uma mesma linha horizontal da associação, ou seja, em pontos de um mesmo pavimento, o que pela hipótese do diafragma rígido não aconteceria. Para as vigas, os momentos de inércia utilizados devem ser da seção. (CHINEM, 2010).

Figura 12 - Associação plana de painéis



Fonte: Chinem (2010, p. 25).

Neste modelo, segundo Chinem (2010), fica bem evidenciado o quanto é importante à consideração, na fase de projeto, de sistemas estruturais composto por pórticos que conferem maior rigidez à estrutura do edifício. O autor ainda destaca que o módulo de rigidez equivalente calculado para a associação plana de painéis terá valor menor do que se utilizado o modelo tridimensional, com contraventamento em direções ortogonais. Assim é possível concluir que o modelo plano fica a favor da segurança.

De acordo com Cruz, Ferreira e Lucena (2019) o deslocamento característico a_k no topo do pilar equivalente quando é aplicada uma carga unitária concentrada característica P_k é dado pela equação (4.7).

$$a_k = \frac{P_k H^2}{3EI_k} \quad \text{Eq. (4.7)}$$

Isolando EI_k na equação acima se obtém a equação abaixo

$$EI_k = \frac{P H^2}{3a_k} \quad \text{Eq. (4.8)}$$

É importante destacar que o uso de uma carga unitária concentrada ou distribuída não altera a equação do parâmetro α , porém, usando a carga concentrada o valor de I_k terá menor aproximação do que quando se usa a carga distribuída, devido ao fato de que o carregamento atuante na edificação é em geral distribuído nas fachadas.

4.2 Coeficiente Gama-Z

No item 15.5.3 da ABNT NBR 6118:2014 é apresentado o coeficiente γ_z (Equação 4.9 deste TCC) que fornece resultados para a avaliação da importância dos esforços de segunda ordem globais e é válido para estruturas reticuladas de no mínimo quatro andares.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad \text{Eq. (4.9)}$$

Sendo:

$M_{1,tot,d}$ 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;

$\Delta M_{tot,d}$ 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.

Ou seja:

$$M_{1,tot,d} = \sum F_{hd,i} x_i \quad \text{Eq. (4.10)}$$

$$\Delta M_{tot,d} = \sum P_{d,i} y_i \quad \text{Eq. (4.11)}$$

Sendo:

- F_{hdi} Força horizontal do andar i;
- x_i Distância do andar i à base do edifício;
- P_{di} Força vertical do andar i;
- y_i Deslocamento horizontal do andar i;

Considera-se que a estrutura é de nós fixos se for obedecida a condição $\gamma_z \leq 1,1$.

Para a análise de estruturas de nós móveis, ou seja, valores de $\gamma_z > 1,1$ devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos da não linearidade geométrica (NLG) e da não linearidade física (NLF), e no dimensionamento devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos globais, locais e localizados de 2ª ordem. Um processo válido para valores de $\gamma_z \leq 1,3$ é apresentado no item 15.7.2 a NBR 6118:2014 que consiste na avaliação dos esforços finais (1ª ordem + 2ª ordem) a partir da majoração adicional dos esforços horizontais da combinação de carregamento considerada por $0,95 \gamma_z$. Para $\gamma_z > 1,3$ é recomendado o enrijecimento da estrutura.

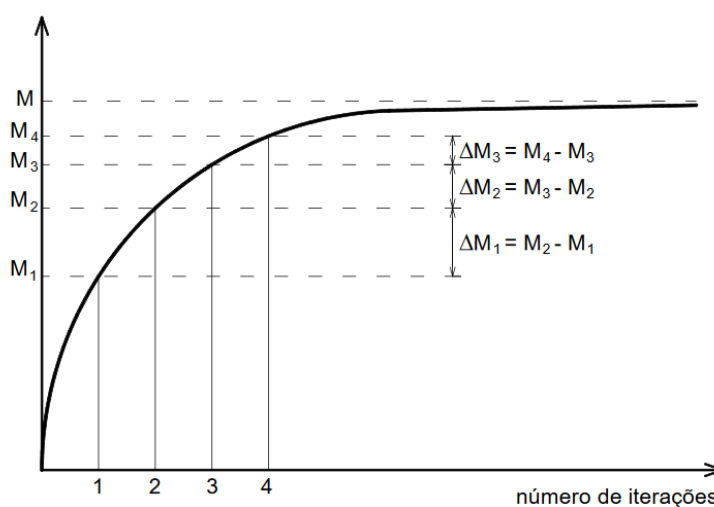
4.2.1 Considerações sobre a formulação do coeficiente γ_z

Na Figura 13, tem-se um gráfico que relaciona o momento gerado na estrutura e o número de iterações. Verifica-se no gráfico que o fim da curva tende a ser uma reta horizontal, ou seja, tende a convergir a um único valor, igual ao momento final M .

Esse momento final M é a soma dos momentos de primeira e de segunda ordem, ou seja, é a soma do momento M_1 com os acréscimos de momentos a cada iteração:

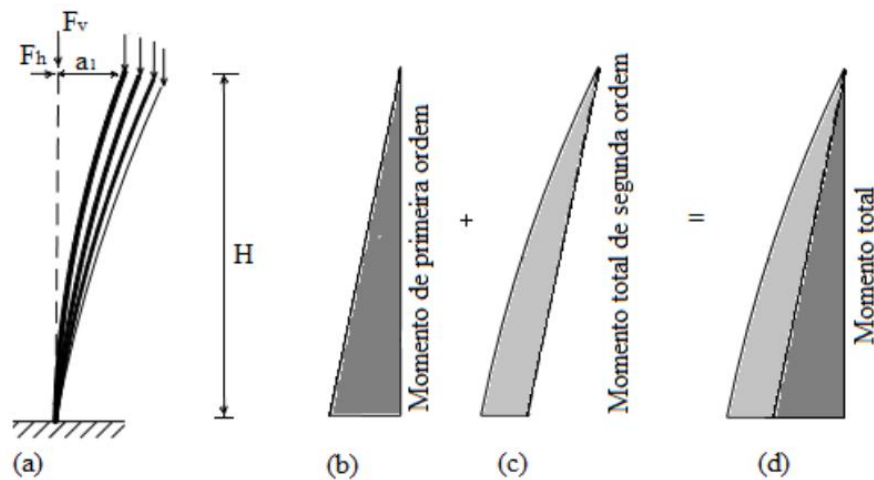
$$M = M_1 + \Delta M_2 + \Delta M_3 + \dots + \Delta M_i \quad \text{Eq. (4.12)}$$

Figura 13 - Determinação do momento final M



Fonte: Moncayo (2011, p. 38).

Figura 14 - Deformadas do pilar e momentos de primeira e segunda ordem e total



Fonte: Cruz, Ferreira e Lucena (2019, p.135)

As parcelas do momento final estão em uma progressão geométrica (PG) decrescente de razão r menor que 1, e a razão pode ser obtida dividindo-se um termo pelo seu anterior, ou seja:

$$r = \frac{\Delta M_1}{M_0} + \frac{\Delta M_2}{M_1} + \frac{\Delta M_3}{M_2} + \dots + \frac{\Delta M_i}{M_{i-1}} < 1 \quad \text{Eq. (4.13)}$$

Da expressão anterior obtêm-se:

$$\begin{aligned} \Delta M_1 &= M_1 r \\ \Delta M_2 &= M_1 r^2 \\ \Delta M_3 &= M_1 r^3 \end{aligned} \quad \text{Eq. (4.14)}$$

Substituindo na equação (4.13), resulta:

$$M = M_1 + \Delta M_1 + \Delta M_3 + \dots + \Delta M_i \quad \text{Eq. (4.15)}$$

$$M = M_1 + M_1 r + M_1 r^2 + \dots + M_1 r^i \quad \text{Eq. (4.16)}$$

Colocando-se M_1 em evidência na equação (4.16), obtêm-se:

$$M = (1 + r + r^2 + \dots + r)M_1 \quad \text{Eq. (4.17)}$$

Percebe-se que a somatória das parcelas dentro dos parênteses, no segundo membro da equação (4.14), é uma soma dos termos de uma progressão geométrica (PG) infinita de razão r , cuja formulação já foi deduzida e pode ser encontrada em livros de matemática do ensino médio. Tal formulação permite que se diga que a soma dos termos de uma PG infinita de razão q , com $(-1 < q < 1)$, é dada por:

$$S_\infty = \frac{1}{1 - r} \quad \text{Eq. (4.18)}$$

Sendo:

α É o primeiro termo da soma;

q É a razão no intervalo $-1 < q < 1$

No estudo das progressões geométricas impõe-se como restrição para a razão o intervalo $(-1 < q < 1)$, pois o universo de estudo são os números reais. Na demonstração do coeficiente γ_z impõe-se como restrição para a razão apenas $(q < 1)$, pois nunca resultará razão negativa, isso porque um momento obtido numa determinada iteração nunca será menor que o obtido na iteração anterior. Caso isto ocorra, algum erro foi cometido na análise.

Portanto, obtém-se o seguinte resultado:

$$M = \left(\frac{1}{1 - r} \right) \cdot M_1 \quad \text{Eq. (4.19)}$$

Sabe-se que o γ_z é obtido por meio de uma análise linear e que com ele pode-se considerar de forma aproximada a análise não linear geométrica. Tal análise é realizada por sucessivas análises lineares, uma após a outra, ou seja, a cada iteração realiza-se uma análise linear para que no final se possa obter um resultado que represente os

efeitos da não-linearidade geométrica. Portanto, considerando-se apenas a primeira análise linear, o que corresponde à primeira e à segunda iteração, tem-se:

$$r = \frac{\Delta M}{M_1} \quad \text{Eq. (4.20)}$$

E em valores de cálculo:

$$r = \frac{\Delta M_d}{M_{1d}} \quad \text{Eq. (4.21)}$$

Portanto, substituindo-se a equação (4.21) na equação (4.19) resulta em:

$$M = \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta M_d}{M_{1d}}} \right) \cdot M_1 \quad \text{Eq. (4.22)}$$

A parcela que majora o momento M_1 foi definida por Franco e Vasconcelos (1991) como o coeficiente γ_z . Portanto:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_d}{M_{1d}}} \quad \text{Eq. (4.23)}$$

Generalizando-se para o caso de edifícios, onde se tem carregamentos verticais com diferentes pontos de aplicação na estrutura, obtém-se a formulação apresentada no item 15.5.3 da NBR 6118:2014 e na equação (4.24).

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad \text{Eq. (4.24)}$$

5 FATORES QUE INFLUENCIAM OS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE

“A alteração da rigidez de uma estrutura tem influência direta na estabilidade global do edifício.” (MONCAYO, 2011, p. 77). Existem diversos fatores que influenciam na estabilidade global de um edifício. Alguns deles são mais significativos, outros praticamente desprezíveis.

Por esse motivo a análise através dos parâmetros de instabilidade deve ser realizada na fase inicial do projeto, permitindo que projetista possa alterar características da estrutura quando forem indicadas nesta fase mudanças para melhores resultados. (BUENO, 2009).

A seguir, serão apresentadas considerações a cerca da influência da rigidez de cada elemento estrutural e da influência das cargas atuantes.

5.1 Influência da rigidez de cada elemento estrutural

A influência da rigidez das lajes na estabilidade global de um edifício é muito pequena, e na grande maioria das vezes, pode ser desprezada.

“Para a questão das lajes, pode-se notar sua pequena importância na análise da estabilidade até pela recomendação da ABNT NBR 6118:2003, que sugere a redução de sua rigidez à flexão para $0,3 \cdot E_{ci} I_c$.” (MONCAYO, 2011, p.77). Vale ressaltar que essa recomendação também está presente na ABNT NBR 6118:2014, no item 15.7.3.

Portanto, se o edifício está instável, não adianta aumentar a altura das lajes para solucionar o problema. Logo, os pórticos que estabilizam a estrutura são formados por conjuntos de vigas e pilares.

Tanto as vigas como os pilares possuem influência na estabilidade, mas principalmente os pilares, têm influência significativa na estabilidade global de um edifício. Porém, é preciso ter sensibilidade para identificar quais os elementos são preponderantes no comportamento global da estrutura.

A alteração das seções dos elementos de contraventamento para aumentarem a inércia à flexão ou a mudança na posição de pilares e pórticos pode levar a bons resultados no quesito de estabilidade global da estrutura e é uma maneira eficiente de melhorar o desempenho do conjunto. (BUENO, 2009).

As caixas de elevador também são um elemento significativo na estabilidade global de uma estrutura é o pilar de formato não retangular (geralmente em forma de “U” ou “L”) definido junto aos elevadores ou escadas de um edifício. Estes pilares normalmente possuem uma elevada rigidez e contribuem bastante na estabilidade global da edificação.

5.2 Influência das cargas atuantes

Segundo Chinem (2010). Além da rigidez da estrutura, as cargas aplicadas na mesma também influenciam a estabilidade global do edifício. Sob a ação das cargas verticais e horizontais, os nós da estrutura de um edifício deslocam-se lateralmente. Esses deslocamentos podem, em certos casos, causar o aparecimento de importantes efeitos de segunda ordem.

5.2.1 Cargas horizontais

A ação do vento é a principal causa desses esforços horizontais nas edificações altas, mas também se deve ter atenção à assimetria da geometria da estrutura, que poderá causar ou se combinar com as cargas do vento, provocando importantes deslocamentos horizontais.

De acordo com Bueno (2009). Um certo carregamento de vento aplicado em uma edificação irá proporcionar os deslocamentos laterais que aliados ao carregamento vertical poderão levar a significativos esforços de segunda ordem. No entanto, por mais que se aumente a magnitude do vento, α e γ_z não se alteram, pois isso também implicará em um aumento da flecha lateral da edificação e assim os esforços de primeira ordem aumentam na mesma proporção que os de segunda ordem e a relação M_{1d}/M_{2d} ficam constante.

5.2.2 Cargas verticais

Percebe-se que quanto maior magnitude das cargas verticais aplicadas à estrutura tais como o peso próprio e a sobrecarga acidental, tem influência direta na estabilidade global da estrutura, ou seja, maiores serão os valores de, α e γ_z podendo deixá-la instável. “Logo, uma das formas de melhorar a estabilidade de edifícios altos é

alterar as cargas verticais através do uso de materiais mais leves.” (BUENO, 2009, p.42).

6 CORRELAÇÕES ENTRE O PARÂMETRO α E O COEFICIENTE γ_z

O fato de que inúmeros estudiosos do problema da estabilidade global terem dedicado tempo e energia na procura de correlações entre o parâmetro de instabilidade, α , e o coeficiente γ_z , fala por si só da importância de se poder obter o valor de um destes parâmetros em função do outro. Como o cálculo do γ_z é mais trabalhoso que o cálculo do α , então normalmente, procura-se escrever o coeficiente Gama-Z como função do parâmetro Alfa.

De acordo com Vasconcelos (1991), citado por Freitas, Luchi e Ferreira (2016; p. 205), Mário Correa e Márcio Ramalho apresentaram uma expressão, equação (6.1), através da qual o coeficiente γ_z é correlacionado, de modo aproximado, ao parâmetro de instabilidade α , através de uma curva do 2º grau;

$$\gamma_z = 1,10 - 0,33\alpha + 0,50\alpha^2 \quad \text{Eq. (6.1)}$$

O professor Francisco Graziano segundo o INSTITUTO DE ENGENHARIA (1997), citado por Chinem (2010; p. 29) apresentou a equação (6.2) e a equação (6.3). Sendo γ_{fv} o coeficiente de ponderação das ações verticais.

$$\gamma_z(\alpha) = \frac{1}{1 - \gamma_{fv}\alpha^2} \quad \text{Eq. (6.2)}$$

Ou ainda colocando α^2 em evidencia tem-se:

$$\alpha^2(\gamma_z) = \frac{\gamma_z - 1}{\gamma_{fv}\gamma_z} \quad \text{Eq. (6,3)}$$

Maracajá (2020, p. 44), estabelece que partindo da igualdade conceitual entre $\alpha = 0,6$ e $\gamma_z = 1,10$ conclui-se que $\gamma_{fv} = 0,15$.

Campoó, Corrêa e Ramalho (2005) correlacionaram os dois parâmetros para edificações de alvenaria estrutural, através da equação (6.4),

$$\gamma_z = 0,137\alpha^2 - 0,379\alpha + 1,0103 \quad \text{Eq. (6.4)}$$

Carmo (1995, p. 82) através de uma análise apropriada com 60 pares de valores ALFA GAMA-Z estabeleceu uma correlação entre o Alfa e o Gama-Z através de uma equação do 3º grau representada na equação (6.5).

$$\gamma_z = 0,90 + 0,52\alpha - 0,62\alpha^2 + 0,46\alpha^3 \quad \text{Eq. (6.5)}$$

Recentemente, neste ano de 2020, no TCC intitulado: SOBRE OS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL E AS RELAÇÕES ENTRE O ALFA E O GAMA-Z, Maracajá (2020), apresentou vinte equações de correlação entre os dois parâmetros que praticamente dão título ao seu trabalho. Dez destas equações são aplicáveis na análise de estruturas com concreto tipo C30 e as outras, para concreto tipo C40, isso se justifica por ser o F_{ck} do concreto uma das variáveis que mais afeta o valor destes parâmetros em estudo. Além da resistência do concreto, a rigidez lateral da estrutura influencia decisivamente os valores tanto do parâmetro Alfa quanto do coeficiente Gama-Z, o que levou a autora a considerar o fator de redução equivalente, F_{Req} , e para cada um dos valores adotados (0,50; 0,55; 0,60; 0,65 e 0,7), associar uma equação de correlação. É importante ressaltar que em cada um dos conjuntos de dez equações apresentadas, cinco são cúbicas e cinco quadráticas.

Para obtenção das vinte equações Maracajá (2020) partiu dos sessenta pares de valores ALFA GAMA-Z utilizados por Carmo (1995). Ela recalculou os valores destes pares, auxiliada por varias equações de correção (atualização) tendo em vista que as recomendações vigentes em 1995 eram diferentes das recomendações preconizadas nas normas atuais. Como a partir de 2014 (devido à vigência da ABNT NBR 6118:2014) a utilização do fator de redução, F_R , deixou de ser recomendada, sendo permitida a

redução da rigidez flexional dos elementos da estrutura de contraventamento conforme o subitem 3.1 deste TCC, a autora, passou a utilizar o fator de redução equivalente, F_{Req} , de cada pórtico com a rigidez flexional dos seus elementos reduzidos segundo as recomendações das normas vigentes.

Neste TCC, serão obtidas as equações de correlação para as estruturas com concreto do tipo C20 até C50, isto é para os demais valores do F_{ck} dos concretos da Classe I, excetuando-se os concretos C30 e C40, já estudados por Maracajá (2020). E com estas equações serão obtidos valores do Gama-Z em função do parâmetro Alfa, para valores do F_{Req} . de 0,50 ate 0,80, variando de 0,05.

Com os valores dos parâmetros em estudo assim calculados serão organizadas tabelas que permitam a obtenção do valor do Gama-Z em função do valor do parâmetro Alfa para cada um dos valores do F_{ck} considerados e para cada valor do F_{Req} no intervalo previamente definido.

6.1 As equações de correlação entre Alfa e o Gama-Z para concretos C20 até C50.

Tabela 1 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para $F_{ck} = 20\text{MPa}$

$\alpha_{(0)}$	$\gamma_{z(0)}$	$\alpha_{(ar;20)}$	$\gamma_{z(ar;20;0,80)}$	$\gamma_{z(ar;20;0,75)}$	$\gamma_{z(ar;20;0,70)}$	$\gamma_{z(ar;20;0,65)}$	$\gamma_{z(ar;20;0,60)}$	$\gamma_{z(ar;20;0,55)}$	$\gamma_{z(ar;20;0,50)}$
0,97	1,23	1,09	1,37	1,40	1,46	1,49	1,56	1,64	1,75
0,75	1,14	0,84	1,21	1,23	1,26	1,28	1,31	1,34	1,39
0,87	1,19	0,98	1,30	1,32	1,37	1,39	1,44	1,50	1,58
0,76	1,13	0,85	1,20	1,21	1,24	1,26	1,28	1,32	1,36
0,73	1,12	0,82	1,18	1,20	1,22	1,23	1,26	1,29	1,33
1,11	1,38	1,25	1,65	1,73	1,86	1,95	2,11	2,35	2,72
0,66	1,11	0,74	1,17	1,18	1,20	1,21	1,23	1,26	1,29
0,81	1,16	0,91	1,25	1,27	1,30	1,32	1,36	1,40	1,46
0,72	1,11	0,81	1,17	1,18	1,20	1,21	1,23	1,26	1,29
0,47	1,05	0,53	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12
0,80	1,15	0,90	1,23	1,25	1,28	1,30	1,33	1,37	1,43
1,17	1,40	1,31	1,69	1,78	1,92	2,02	2,21	2,48	2,91
1,22	1,44	1,37	1,78	1,88	2,05	2,17	2,41	2,76	3,35
0,86	1,18	0,90	1,28	1,30	1,34	1,37	1,41	1,47	1,54
0,86	1,18	0,97	1,28	1,30	1,34	1,37	1,41	1,47	1,54
0,78	1,16	0,88	1,25	1,27	1,30	1,32	1,36	1,40	1,46
0,70	1,12	0,79	1,18	1,20	1,22	1,23	1,26	1,29	1,33
0,99	1,26	1,11	1,42	1,46	1,53	1,57	1,65	1,76	1,90

0,95	1,23	1,07	1,37	1,40	1,46	1,49	1,56	1,64	1,75
1,03	1,27	1,16	1,44	1,48	1,55	1,60	1,69	1,80	1,95
0,84	1,19	0,94	1,30	1,32	1,37	1,39	1,44	1,50	1,58
0,71	1,13	0,80	1,20	1,21	1,24	1,26	1,28	1,32	1,36
0,83	1,15	0,93	1,23	1,25	1,28	1,30	1,33	1,37	1,43
0,66	1,09	0,74	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
1,08	1,31	1,21	1,51	1,57	1,66	1,72	1,83	1,98	2,19
0,69	1,12	0,77	1,18	1,20	1,22	1,23	1,26	1,29	1,33
0,71	1,12	0,80	1,18	1,20	1,22	1,23	1,26	1,29	1,33
0,64	1,09	0,72	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
0,72	1,12	0,81	1,18	1,20	1,22	1,23	1,26	1,29	1,33
0,73	1,12	0,82	1,18	1,20	1,22	1,23	1,26	1,29	1,33
0,83	1,18	0,93	1,28	1,30	1,34	1,37	1,41	1,47	1,54
0,49	1,06	0,55	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,15
0,70	1,12	0,79	1,18	1,20	1,22	1,23	1,26	1,29	1,33
0,48	1,05	0,54	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12
0,57	1,07	0,64	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16	1,18
0,51	1,06	0,57	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,15
0,60	1,08	0,67	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20
0,40	1,04	0,45	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09	1,10
0,69	1,12	0,77	1,18	1,20	1,22	1,23	1,26	1,29	1,33
0,46	1,05	0,52	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12
0,91	1,21	1,02	1,33	1,36	1,41	1,44	1,50	1,57	1,66
1,14	1,35	1,28	1,59	1,66	1,77	1,84	1,98	2,18	2,47
0,90	1,18	1,01	1,28	1,30	1,34	1,37	1,41	1,47	1,54
0,76	1,15	0,85	1,23	1,25	1,28	1,30	1,33	1,37	1,43
0,99	1,26	1,11	1,42	1,46	1,53	1,57	1,65	1,76	1,90
1,14	1,41	1,28	1,72	1,80	1,95	2,06	2,25	2,54	3,01
0,63	1,1	0,71	1,15	1,16	1,18	1,19	1,21	1,23	1,26
0,78	1,15	0,88	1,23	1,25	1,28	1,30	1,33	1,37	1,43
0,78	1,15	0,88	1,23	1,25	1,28	1,30	1,33	1,37	1,43
0,76	1,14	0,85	1,21	1,23	1,26	1,28	1,31	1,34	1,39
0,66	1,1	0,74	1,15	1,16	1,18	1,19	1,21	1,23	1,26
0,68	1,11	0,76	1,17	1,18	1,20	1,21	1,23	1,26	1,29
0,84	1,15	0,94	1,23	1,25	1,28	1,30	1,33	1,37	1,43
0,55	1,1	0,62	1,15	1,16	1,18	1,19	1,21	1,23	1,26
1,06	1,29	1,19	1,48	1,52	1,61	1,66	1,75	1,88	2,07
0,49	1,05	0,55	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12
0,75	1,13	0,84	1,20	1,21	1,24	1,26	1,28	1,32	1,36
0,78	1,14	0,88	1,21	1,23	1,26	1,28	1,31	1,34	1,39
0,65	1,1	0,73	1,15	1,16	1,18	1,19	1,21	1,23	1,26
0,58	1,07	0,65	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16	1,18

Fonte: O autor

Tabela 2 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para Fck = 20MPa

F _{Req.}	Ordem	Equações	$\gamma_z(\alpha=0,6)$	Eq.
0,80	3º grau	$\gamma_z = 0,88\alpha^3 - 1,53\alpha^2 + 1,25\alpha + 0,72$	1,109	(6.6a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,83\alpha^2 - 0,77\alpha + 1,26$	1,097	(6.6b)
0,75	3º grau	$\gamma_z = 1,07\alpha^3 - 1,93\alpha^2 + 1,55\alpha + 0,65$	1,116	(6.7a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,97\alpha^2 - 0,94\alpha + 1,32$	1,105	(6.7b)
0,70	3º grau	$\gamma_z = 1,47\alpha^3 - 2,74\alpha^2 + 2,14\alpha + 0,51$	1,125	(6.8a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,22\alpha^2 - 1,25\alpha + 1,42$	1,109	(6.8b)
0,65	3º grau	$\gamma_z = 1,77\alpha^3 - 3,38\alpha^2 + 2,61\alpha + 0,40$	1,132	(6.9a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,41\alpha^2 - 1,48\alpha + 1,50$	1,120	(6.9b)
0,60	3º grau	$\gamma_z = 2,43\alpha^3 - 4,77\alpha^2 + 3,65\alpha + 0,15$	1,148	(6.10a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,78\alpha^2 - 1,96\alpha + 1,67$	1,135	(6.10b)
0,55	3º grau	$\gamma_z = 3,54\alpha^3 - 7,20\alpha^2 + 5,45\alpha - 0,27$	1,173	(6.11a)
	2º grau	$\gamma_z = 2,36\alpha^2 - 2,73\alpha + 1,94$	1,152	(6.11b)
0,50	3º grau	$\gamma_z = 5,69\alpha^3 - 11,99\alpha^2 + 9,03\alpha - 1,13$	1,201	(6.12a)
	2º grau	$\gamma_z = 3,35\alpha^2 - 4,10\alpha + 2,42$	1,166	(6.12b)

Fonte: O autor

Tabela 3 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para fck = 25MPa

$\alpha_{(0)}$	$\gamma_{z(0)}$	$\alpha_{(ar;25)}$	$\gamma_{z(ar;25;0,80)}$	$\gamma_{z(ar;25;0,75)}$	$\gamma_{z(ar;25;0,70)}$	$\gamma_{z(ar;25;0,65)}$	$\gamma_{z(ar;25;0,60)}$	$\gamma_{z(ar;25;0,55)}$	$\gamma_{z(ar;25;0,50)}$
0,97	1,23	1,02	1,32	1,34	1,39	1,42	1,47	1,54	1,62
0,75	1,14	0,79	1,19	1,20	1,23	1,24	1,27	1,30	1,34
0,87	1,19	0,92	1,26	1,28	1,31	1,34	1,38	1,42	1,49
0,76	1,13	0,80	1,17	1,19	1,21	1,22	1,25	1,27	1,31
0,73	1,12	0,77	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,25	1,28
1,11	1,38	1,17	1,55	1,61	1,70	1,77	1,89	2,06	2,30
0,66	1,11	0,70	1,15	1,16	1,17	1,19	1,20	1,23	1,26
0,81	1,16	0,85	1,22	1,23	1,26	1,28	1,31	1,35	1,40
0,72	1,11	0,76	1,15	1,16	1,17	1,19	1,20	1,23	1,26
0,47	1,05	0,50	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11
0,80	1,15	0,84	1,20	1,22	1,24	1,26	1,29	1,32	1,37

1,17	1,40	1,23	1,58	1,64	1,75	1,82	1,96	2,14	2,42
1,22	1,44	1,29	1,65	1,72	1,85	1,93	2,10	2,33	2,68
0,86	1,18	0,84	1,24	1,26	1,30	1,32	1,35	1,40	1,46
0,86	1,18	0,91	1,24	1,26	1,30	1,32	1,35	1,40	1,46
0,78	1,16	0,82	1,22	1,23	1,26	1,28	1,31	1,35	1,40
0,70	1,12	0,74	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,25	1,28
0,99	1,26	1,04	1,36	1,39	1,45	1,48	1,55	1,63	1,74
0,95	1,23	1,00	1,32	1,34	1,39	1,42	1,47	1,54	1,62
1,03	1,27	1,09	1,38	1,41	1,47	1,51	1,57	1,66	1,77
0,84	1,19	0,88	1,26	1,28	1,31	1,34	1,38	1,42	1,49
0,71	1,13	0,75	1,17	1,19	1,21	1,22	1,25	1,27	1,31
0,83	1,15	0,87	1,20	1,22	1,24	1,26	1,29	1,32	1,37
0,66	1,09	0,70	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
1,08	1,31	1,14	1,44	1,48	1,55	1,60	1,68	1,79	1,95
0,69	1,12	0,73	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,25	1,28
0,71	1,12	0,75	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,25	1,28
0,64	1,09	0,67	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
0,72	1,12	0,76	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,25	1,28
0,73	1,12	0,77	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,25	1,28
0,83	1,18	0,87	1,24	1,26	1,30	1,32	1,35	1,40	1,46
0,49	1,06	0,52	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13
0,70	1,12	0,74	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,25	1,28
0,48	1,05	0,51	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11
0,57	1,07	0,60	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16
0,51	1,06	0,54	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13
0,60	1,08	0,63	1,11	1,11	1,12	1,13	1,15	1,16	1,18
0,40	1,04	0,42	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07	1,08	1,09
0,69	1,12	0,73	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,25	1,28
0,46	1,05	0,48	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11
0,91	1,21	0,96	1,29	1,31	1,35	1,38	1,42	1,48	1,55
1,14	1,35	1,20	1,50	1,55	1,64	1,69	1,80	1,94	2,14
0,90	1,18	0,95	1,24	1,26	1,30	1,32	1,35	1,40	1,46
0,76	1,15	0,80	1,20	1,22	1,24	1,26	1,29	1,32	1,37
0,99	1,26	1,04	1,36	1,39	1,45	1,48	1,55	1,63	1,74
1,14	1,41	1,20	1,60	1,66	1,77	1,85	1,99	2,19	2,48
0,63	1,1	0,66	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
0,78	1,15	0,82	1,20	1,22	1,24	1,26	1,29	1,32	1,37
0,78	1,15	0,82	1,20	1,22	1,24	1,26	1,29	1,32	1,37
0,76	1,14	0,80	1,19	1,20	1,23	1,24	1,27	1,30	1,34
0,66	1,1	0,70	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
0,68	1,11	0,72	1,15	1,16	1,17	1,19	1,20	1,23	1,26
0,84	1,15	0,88	1,20	1,22	1,24	1,26	1,29	1,32	1,37
0,55	1,1	0,58	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
1,06	1,29	1,12	1,41	1,44	1,51	1,55	1,63	1,72	1,86
0,49	1,05	0,52	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11
0,75	1,13	0,79	1,17	1,19	1,21	1,22	1,25	1,27	1,31
0,78	1,14	0,82	1,19	1,20	1,23	1,24	1,27	1,30	1,34

0,65	1,10	0,68	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
0,58	1,07	0,61	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16

Fonte: O autor

Tabela 4 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para Fck = 25MPa

F _{Req.}	Ordem	Equações	$\gamma_z(\alpha=0,6)$	Eq.
0,80	3º grau	$\gamma_z = 0,76\alpha^3 - 1,19\alpha^2 + 0,95\alpha + 0,80$	1,106	(6.13a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,73\alpha^2 - 0,60\alpha + 1,19$	1,093	(6.13b)
0,75	3º grau	$\gamma_z = 0,92\alpha^3 - 1,48\alpha^2 + 1,15\alpha + 0,76$	1,116	(6.14a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,85\alpha^2 - 0,72\alpha + 1,23$	1,104	(6.14b)
0,70	3º grau	$\gamma_z = 1,22\alpha^3 - 2,03\alpha^2 + 1,54\alpha + 0,67$	1,127	(6.15a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,05\alpha^2 - 0,94\alpha + 1,30$	1,114	(6.15b)
0,65	3º grau	$\gamma_z = 1,44\alpha^3 - 2,46\alpha^2 + 1,84\alpha + 0,61$	1,139	(6.16a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,19\alpha^2 - 1,10\alpha + 1,35$	1,118	(6.16b)
0,60	3º grau	$\gamma_z = 1,91\alpha^3 - 3,37\alpha^2 + 2,46\alpha + 0,47$	1,145	(6.17a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,47\alpha^2 - 1,42\alpha + 1,45$	1,127	(6.17b)
0,55	3º grau	$\gamma_z = 2,66\alpha^3 - 4,85\alpha^2 + 3,49\alpha + 0,24$	1,163	(6.18a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,88\alpha^2 - 1,91\alpha + 1,61$	1,141	(6.18b)
0,50	3º grau	$\gamma_z = 3,98\alpha^3 - 7,54\alpha^2 + 5,36\alpha - 0,18$	1,181	(6.19a)
	2º grau	$\gamma_z = 2,53\alpha^2 - 2,73\alpha + 1,88$	1,153	(6.19b)

Fonte: O autor

Tabela 5 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para fck = 30MPa

$\alpha_{(0)}$	$\gamma_{z(0)}$	$\alpha_{(ar;30)}$	$\gamma_{z(ar;30;0,80)}$	$\gamma_{z(ar;30;0,75)}$	$\gamma_{z(ar;30;0,70)}$	$\gamma_{z(ar;30;0,65)}$	$\gamma_{z(ar;30;0,60)}$	$\gamma_{z(ar;30;0,55)}$	$\gamma_{z(ar;30;0,50)}$
0,97	1,23	0,97	1,29	1,31	1,34	1,37	1,42	1,48	1,55
0,75	1,14	0,75	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27	1,30
0,87	1,19	0,87	1,24	1,26	1,28	1,31	1,34	1,38	1,44
0,76	1,13	0,76	1,15	1,17	1,18	1,21	1,20	1,24	1,27
0,73	1,12	0,73	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23	1,26
1,11	1,38	1,11	1,50	1,55	1,61	1,68	1,79	1,93	2,13
0,66	1,11	0,66	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22
0,81	1,16	0,81	1,20	1,21	1,23	1,25	1,28	1,31	1,35
0,72	1,11	0,72	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22

0,47	1,05	0,47	1,06	1,05	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10
0,8	1,15	0,8	1,18	1,19	1,21	1,23	1,25	1,28	1,32
1,17	1,4	1,17	1,52	1,57	1,64	1,72	1,83	1,99	2,20
1,22	1,44	1,22	1,58	1,64	1,72	1,82	1,95	2,14	2,41
0,8	1,18	0,8	1,22	1,24	1,26	1,29	1,32	1,36	1,41
0,86	1,18	0,86	1,22	1,24	1,26	1,29	1,32	1,36	1,41
0,78	1,16	0,78	1,20	1,21	1,23	1,25	1,30	1,31	1,35
0,7	1,12	0,7	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23	1,25
0,99	1,26	0,99	1,33	1,36	1,40	1,43	1,50	1,57	1,67
0,95	1,23	0,95	1,29	1,31	1,34	1,38	1,42	1,48	1,55
1,03	1,27	1,03	1,34	1,37	1,41	1,47	1,51	1,59	1,69
0,84	1,19	0,84	1,20	1,21	1,23	1,25	1,28	1,31	1,35
0,71	1,13	0,71	1,15	1,17	1,18	1,21	1,22	1,24	1,27
0,83	1,15	0,83	1,18	1,19	1,21	1,24	1,25	1,28	1,32
0,66	1,09	0,66	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,19
1,08	1,31	1,08	1,39	1,42	1,47	1,54	1,59	1,69	1,81
0,69	1,12	0,69	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23	1,25
0,71	1,12	0,71	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23	1,25
0,64	1,09	0,64	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,19
0,72	1,12	0,72	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23	1,25
0,73	1,12	0,73	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23	1,25
0,83	1,18	0,83	1,22	1,24	1,26	1,28	1,32	1,36	1,41
0,49	1,06	0,49	1,07	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11
0,7	1,12	0,7	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23	1,25
0,48	1,05	0,48	1,06	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10
0,57	1,07	0,57	1,09	1,19	1,10	1,11	1,12	1,13	1,15
0,51	1,06	0,51	1,07	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,12
0,6	1,08	0,6	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16
0,4	1,04	0,4	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07
0,69	1,12	0,69	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23	1,25
0,46	1,05	0,46	1,06	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,11
0,91	1,21	0,91	1,26	1,28	1,31	1,34	1,38	1,43	1,49
1,14	1,35	1,14	1,45	1,49	1,55	1,62	1,71	1,82	1,99
0,9	1,18	0,9	1,22	1,24	1,26	1,28	1,32	1,35	1,41
0,76	1,15	0,76	1,19	1,20	1,22	1,24	1,26	1,30	1,34
0,99	1,26	0,99	1,33	1,35	1,39	1,43	1,48	1,55	1,65
1,14	1,41	1,14	1,53	1,59	1,66	1,75	1,86	2,02	2,25
0,63	1,1	0,63	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,21
0,78	1,15	0,78	1,19	1,20	1,22	1,24	1,26	1,30	1,34
0,78	1,15	0,78	1,19	1,20	1,22	1,24	1,26	1,30	1,34
0,76	1,14	0,76	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27	1,30
0,66	1,1	0,66	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,21
0,68	1,11	0,68	1,14	1,15	1,16	1,17	1,19	1,21	1,24
0,84	1,15	0,84	1,19	1,20	1,22	1,24	1,26	1,30	1,34
0,55	1,1	0,55	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,21
1,06	1,29	1,06	1,36	1,40	1,44	1,49	1,55	1,64	1,75
0,49	1,05	0,49	1,06	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,11
0,75	1,13	0,75	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,29

0,78	1,14	0,78	1,17	1,18	1,20	1,24	1,24	1,27	1,30
0,65	1,1	0,65	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,21
0,58	1,07	0,58	1,09	1,09	1,10	1,11	1,13	1,13	1,15

Fonte: Adaptada de Maracajá (2020, p. 49 – 50)

Tabela 6 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para Fck = 30MPa

F _{Req.}	Ordem	Equações	$\gamma_z(\alpha=0,6)$	Eq.
0,80	3º grau	$\gamma_z = 0,73\alpha^3 - 1,06\alpha^2 + 0,82\alpha + 0,84$	1,108	(6.20a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,71\alpha^2 - 0,52\alpha + 1,16$	1,104	(6.20b)
0,75	3º grau	$\gamma_z = 0,88\alpha^3 - 1,30\alpha^2 + 0,99\alpha + 0,80$	1,116	(6.21a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,81\alpha^2 - 0,62\alpha + 1,19$	1,110	(6.21b)
0,70	3º grau	$\gamma_z = 1,19\alpha^3 - 1,90\alpha^2 + 0,38\alpha + 0,72$	1,121	(6.22a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,96\alpha^2 - 0,79\alpha + 1,24$	1,112	(6.22b)
0,65	3º grau	$\gamma_z = 1,43\alpha^3 - 2,31\alpha^2 + 1,64\alpha + 0,67$	1,131	(6.23a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,14\alpha^2 - 0,98\alpha + 1,30$	1,122	(6.23b)
0,60	3º grau	$\gamma_z = 1,88\alpha^3 - 3,15\alpha^2 + 2,22\alpha + 0,54$	1,144	(6.24a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,37\alpha^2 - 1,23\alpha + 1,37$	1,125	(6.24b)
0,55	3º grau	$\gamma_z = 2,57\alpha^3 - 4,45\alpha^2 + 3,09\alpha + 0,35$	1,157	(6.25a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,72\alpha^2 - 1,61\alpha + 1,49$	1,143	(6.25b)
0,50	3º grau	$\gamma_z = 3,54\alpha^3 - 6,22\alpha^2 + 4,20\alpha + 0,14$	1,185	(6.26a)
	2º grau	$\gamma_z = 2,30\alpha^2 - 2,29\alpha + 1,70$	1,154	(6.26b)

Fonte: Adaptada de Maracajá (2020, p. 56 - 63)

Tabela 7 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para fck = 35MPa

$\alpha_{(0)}$	$\gamma_{z(0)}$	$\alpha_{(ar;35)}$	$\gamma_{z(ar;35;0,80)}$	$\gamma_{z(ar;35;0,75)}$	$\gamma_{z(ar;35;0,70)}$	$\gamma_{z(ar;35;0,65)}$	$\gamma_{z(ar;35;0,60)}$	$\gamma_{z(ar;35;0,55)}$	$\gamma_{z(ar;35;0,50)}$
0,97	1,23	0,93	1,25	1,28	1,31	1,33	1,37	1,42	1,48
0,75	1,14	0,72	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27
0,87	1,19	0,83	1,21	1,23	1,25	1,27	1,30	1,34	1,38
0,76	1,13	0,73	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,73	1,12	0,70	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
1,11	1,38	1,06	1,43	1,47	1,54	1,58	1,66	1,77	1,92
0,66	1,11	0,63	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,19	1,21

0,81	1,16	0,77	1,18	1,19	1,21	1,23	1,25	1,28	1,31
0,72	1,11	0,69	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,19	1,21
0,47	1,05	0,45	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09
0,80	1,15	0,76	1,16	1,18	1,20	1,21	1,23	1,26	1,29
1,17	1,40	1,12	1,45	1,49	1,57	1,62	1,70	1,82	1,98
1,22	1,44	1,16	1,50	1,55	1,63	1,69	1,79	1,93	2,13
0,86	1,18	0,76	1,20	1,21	1,24	1,26	1,28	1,32	1,36
0,86	1,18	0,82	1,20	1,21	1,24	1,26	1,28	1,32	1,36
0,78	1,16	0,74	1,18	1,19	1,21	1,23	1,25	1,28	1,31
0,70	1,12	0,67	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
0,99	1,26	0,95	1,29	1,31	1,35	1,38	1,43	1,48	1,56
0,95	1,23	0,91	1,25	1,28	1,31	1,33	1,37	1,42	1,48
1,03	1,27	0,98	1,30	1,33	1,37	1,40	1,44	1,50	1,58
0,84	1,19	0,80	1,21	1,23	1,25	1,27	1,30	1,34	1,38
0,71	1,13	0,68	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,83	1,15	0,79	1,16	1,18	1,20	1,21	1,23	1,26	1,29
0,66	1,09	0,63	1,10	1,11	1,12	1,12	1,14	1,15	1,17
1,08	1,31	1,03	1,35	1,38	1,43	1,46	1,52	1,60	1,70
0,69	1,12	0,66	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
0,71	1,12	0,68	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
0,64	1,09	0,61	1,10	1,11	1,12	1,12	1,14	1,15	1,17
0,72	1,12	0,69	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
0,73	1,12	0,70	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
0,83	1,18	0,79	1,20	1,21	1,24	1,26	1,28	1,32	1,36
0,49	1,06	0,47	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11
0,70	1,12	0,67	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
0,48	1,05	0,46	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09
0,57	1,07	0,54	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10	1,12	1,13
0,51	1,06	0,49	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11
0,60	1,08	0,57	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,15
0,40	1,04	0,38	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07
0,69	1,12	0,66	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,20	1,23
0,46	1,05	0,44	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09
0,91	1,21	0,87	1,23	1,25	1,28	1,30	1,34	1,38	1,43
1,14	1,35	1,09	1,39	1,43	1,49	1,53	1,60	1,69	1,82
0,90	1,18	0,86	1,20	1,21	1,24	1,26	1,28	1,32	1,36
0,76	1,15	0,73	1,16	1,18	1,20	1,21	1,23	1,26	1,29
0,99	1,26	0,95	1,29	1,31	1,35	1,38	1,43	1,48	1,56
1,14	1,41	1,09	1,46	1,51	1,58	1,63	1,73	1,85	2,02
0,63	1,1	0,60	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,19
0,78	1,15	0,74	1,16	1,18	1,20	1,21	1,23	1,26	1,29
0,78	1,15	0,74	1,16	1,18	1,20	1,21	1,23	1,26	1,29
0,76	1,14	0,73	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27
0,66	1,1	0,63	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,19
0,68	1,11	0,65	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,19	1,21
0,84	1,15	0,80	1,16	1,18	1,20	1,21	1,23	1,26	1,29
0,55	1,1	0,53	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,19

1,06	1,29	1,01	1,32	1,35	1,40	1,43	1,48	1,55	1,64
0,49	1,05	0,47	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09
0,75	1,13	0,72	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,78	1,14	0,74	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27
0,65	1,10	0,62	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,19
0,58	1,07	0,55	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10	1,12	1,13

Fonte: O autor

Tabela 8 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para Fck = 35MPa

F _{Req.}	Ordem	Equações	$\gamma_z(\alpha=0,6)$	Eq.
0,80	3º grau	$\gamma_z = 0,65\alpha^3 - 0,86\alpha^2 + 0,66\alpha + 0,87$	1,097	(6.27a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,63\alpha^2 - 0,42\alpha + 1,12$	1,095	(6.27b)
0,75	3º grau	$\gamma_z = 0,77\alpha^3 - 1,04\alpha^2 + 0,78\alpha + 0,85$	1,110	(6.28a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,72\alpha^2 - 0,50\alpha + 1,14$	1,099	(6.28b)
0,70	3º grau	$\gamma_z = 0,98\alpha^3 - 1,39\alpha^2 + 1,01\alpha + 0,81$	1,127	(6.29a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,87\alpha^2 - 0,64\alpha + 1,18$	1,109	(6.29b)
0,65	3º grau	$\gamma_z = 1,14\alpha^3 - 1,65\alpha^2 + 1,17\alpha + 0,78$	1,134	(6.30a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,97\alpha^2 - 0,74\alpha + 1,21$	1,115	(6.30b)
0,60	3º grau	$\gamma_z = 1,46\alpha^3 - 2,17\alpha^2 + 1,51\alpha + 0,71$	1,150	(6.31a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,17\alpha^2 - 0,93\alpha + 1,27$	1,133	(6.31b)
0,55	3º grau	$\gamma_z = 1,93\alpha^3 - 2,99\alpha^2 + 2,02\alpha + 0,61$	1,162	(6.32a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,44\alpha^2 - 1,21\alpha + 1,35$	1,142	(6.32b)
0,50	3º grau	$\gamma_z = 2,70\alpha^3 - 4,34\alpha^2 + 2,87\alpha + 0,44$	1,183	(6.33a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,85\alpha^2 - 1,64\alpha + 1,47$	1,152	(6.33b)

Fonte: O autor

Tabela 9 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para fck = 40MPa

$\alpha_{(0)}$	$\gamma_{z(0)}$	$\alpha_{(ar;40)}$	$\gamma_{z(ar;20;0,80)}$	$\gamma_{z(ar;40;0,75)}$	$\gamma_{z(ar;40;0,70)}$	$\gamma_{z(ar;40;0,65)}$	$\gamma_{z(ar;40;0,60)}$	$\gamma_{z(ar;40;0,55)}$	$\gamma_{z(ar;40;0,50)}$
0,97	1,23	0,89	1,24	1,26	1,28	1,31	1,34	1,38	1,44
0,75	1,14	0,69	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,87	1,19	0,80	1,20	1,21	1,23	1,25	1,28	1,31	1,35
0,76	1,13	0,70	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,19	1,21
0,73	1,12	0,67	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20

1,11	1,38	1,02	1,40	1,43	1,48	1,54	1,61	1,70	1,83
0,66	1,11	0,61	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18
0,81	1,16	0,74	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,26	1,29
0,72	1,11	0,66	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18
0,47	1,05	0,43	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,07
0,8	1,15	0,73	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27
1,17	1,40	1,08	1,42	1,46	1,51	1,57	1,65	1,75	1,89
1,22	1,44	1,12	1,47	1,51	1,57	1,64	1,73	1,85	2,02
0,80	1,18	0,73	1,19	1,20	1,22	1,24	1,26	1,29	1,33
0,86	1,18	0,79	1,19	1,20	1,22	1,24	1,26	1,29	1,33
0,78	1,16	0,72	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,26	1,29
0,70	1,12	0,64	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
0,99	1,26	0,91	1,28	1,30	1,33	1,34	1,38	1,43	1,49
0,95	1,23	0,87	1,24	1,26	1,28	1,31	1,34	1,38	1,43
1,03	1,27	0,95	1,29	1,31	1,34	1,38	1,42	1,48	1,55
0,84	1,19	0,77	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,26	1,29
0,71	1,13	0,65	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,19	1,21
0,83	1,15	0,76	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27
0,66	1,09	0,61	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16
1,08	1,31	0,99	1,32	1,35	1,38	1,42	1,47	1,53	1,61
0,69	1,12	0,63	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
0,71	1,12	0,65	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
0,64	1,09	0,59	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16
0,72	1,12	0,66	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
0,73	1,12	0,67	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
0,83	1,18	0,76	1,19	1,20	1,22	1,24	1,26	1,29	1,33
0,49	1,06	0,45	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09	1,10
0,70	1,12	0,64	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
0,48	1,05	0,44	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,07	1,08
0,57	1,07	0,52	1,07	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12
0,51	1,06	0,47	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09	1,10
0,60	1,08	0,55	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13
0,40	1,04	0,37	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
0,69	1,12	0,63	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
0,46	1,05	0,42	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,07	1,08
0,91	1,21	0,84	1,22	1,24	1,26	1,28	1,31	1,35	1,40
1,14	1,35	1,05	1,36	1,40	1,44	1,49	1,55	1,63	1,74
0,90	1,18	0,83	1,19	1,20	1,22	1,24	1,26	1,29	1,33
0,76	1,15	0,70	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27
0,99	1,26	0,91	1,27	1,29	1,32	1,35	1,39	1,44	1,51
1,14	1,41	1,05	1,43	1,47	1,52	1,58	1,66	1,77	1,92
0,63	1,1	0,58	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17
0,78	1,15	0,72	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27
0,78	1,15	0,72	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27
0,76	1,14	0,70	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,66	1,1	0,61	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17
0,68	1,11	0,62	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18
0,84	1,15	0,77	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27

0,55	1,10	0,50	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17
1,06	1,29	0,97	1,30	1,33	1,36	1,40	1,45	1,51	1,59
0,49	1,05	0,45	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,07
0,75	1,13	0,69	1,14	1,15	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
0,78	1,14	0,72	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,65	1,10	0,60	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17
0,58	1,07	0,53	1,07	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12

Fonte: Adaptada de Maracajá (2020, p. 63 - 65)

Tabela 10 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para Fck = 40MPa

F _{Req.}	Ordem	Equações	$\gamma_z(\alpha=0,6)$	Equações
0,80	3º grau	$\gamma_z = 0,62\alpha^3 - 0,76\alpha^2 + 0,59\alpha + 0,89$	1,104	(6.34a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,61\alpha^2 - 0,37\alpha + 1,10$	1,098	(6.34b)
0,75	3º grau	$\gamma_z = 0,73\alpha^3 - 0,92\alpha^2 + 0,69\alpha + 0,87$	1,110	(6.35a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,68\alpha^2 - 0,44\alpha + 1,12$	1,101	(6.35b)
0,70	3º grau	$\gamma_z = 0,97\alpha^3 - 1,32\alpha^2 + 0,92\alpha + 0,83$	1,116	(6.36a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,83\alpha^2 - 0,58\alpha + 1,16$	1,111	(6.36b)
0,65	3º grau	$\gamma_z = 1,27\alpha^3 - 1,86\alpha^2 + 1,30\alpha + 0,75$	1,135	(6.37a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,95\alpha^2 - 0,67\alpha + 1,18$	1,120	(6.37b)
0,60	3º grau	$\gamma_z = 1,61 - 2,43\alpha^2 + 1,65\alpha + 0,68$	1,143	(6.38a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,13\alpha^2 - 0,84\alpha + 1,23$	1,133	(6.38b)
0,55	3º grau	$\gamma_z = 2,06\alpha^3 - 3,16\alpha^2 + 2,10\alpha + 0,59$	1,157	(6.39a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,39\alpha^2 - 1,08\alpha + 1,29$	1,142	(6.39b)
0,50	3º grau	$\gamma_z = 2,84\alpha^3 - 4,52\alpha^2 + 2,93\alpha + 0,43$	1,174	(6.40a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,77\alpha^2 - 1,47\alpha + 1,40$	1,155	(6.40b)

Fonte: Adaptada de Maracajá (2020, p. 65 - 66)

Tabela 11 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para fck = 45MPa

$\alpha_{(0)}$	$\gamma_{z(0)}$	$\alpha_{(ar;45)}$	$\gamma_{z(ar;45;0,80)}$	$\gamma_{z(ar;45;0,75)}$	$\gamma_{z(ar;45;0,70)}$	$\gamma_{z(ar;45;0,65)}$	$\gamma_{z(ar;45;0,60)}$	$\gamma_{z(ar;45;0,55)}$	$\gamma_{z(ar;45;0,50)}$
0,97	1,23	0,86	1,22	1,24	1,26	1,28	1,31	1,35	1,40
0,75	1,14	0,66	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
0,87	1,19	0,77	1,18	1,19	1,22	1,23	1,26	1,29	1,32
0,76	1,13	0,67	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17	1,19	1,21
0,73	1,12	0,65	1,11	1,12	1,14	1,14	1,16	1,18	1,20
1,11	1,38	0,98	1,36	1,39	1,44	1,48	1,54	1,62	1,73
0,66	1,11	0,58	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16	1,18
0,81	1,16	0,72	1,15	1,16	1,18	1,19	1,21	1,24	1,27
0,72	1,11	0,64	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16	1,18

0,47	1,05	0,42	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07	1,08
0,80	1,15	0,71	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
1,17	1,40	1,03	1,38	1,41	1,47	1,51	1,57	1,66	1,78
1,22	1,44	1,08	1,41	1,45	1,52	1,56	1,64	1,74	1,88
0,80	1,18	0,71	1,17	1,18	1,21	1,22	1,24	1,27	1,30
0,86	1,18	0,76	1,17	1,18	1,21	1,22	1,24	1,27	1,30
0,78	1,16	0,69	1,15	1,16	1,18	1,19	1,21	1,24	1,27
0,70	1,12	0,62	1,11	1,12	1,14	1,14	1,16	1,18	1,20
0,99	1,26	0,88	1,25	1,27	1,30	1,32	1,36	1,40	1,46
0,95	1,23	0,84	1,22	1,24	1,26	1,28	1,31	1,35	1,40
1,03	1,27	0,91	1,26	1,28	1,31	1,33	1,37	1,42	1,48
0,84	1,19	0,74	1,18	1,19	1,22	1,23	1,26	1,29	1,32
0,71	1,13	0,63	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17	1,19	1,21
0,83	1,15	0,73	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,66	1,09	0,58	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14
1,08	1,31	0,96	1,29	1,32	1,36	1,39	1,43	1,49	1,57
0,69	1,12	0,61	1,11	1,12	1,14	1,14	1,16	1,18	1,20
0,71	1,12	0,63	1,11	1,12	1,14	1,14	1,16	1,18	1,20
0,64	1,09	0,57	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14
0,72	1,12	0,64	1,11	1,12	1,14	1,14	1,16	1,18	1,20
0,73	1,12	0,65	1,11	1,12	1,14	1,14	1,16	1,18	1,20
0,83	1,18	0,73	1,17	1,18	1,21	1,22	1,24	1,27	1,30
0,49	1,06	0,43	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09	1,09
0,70	1,12	0,62	1,11	1,12	1,14	1,14	1,16	1,18	1,20
0,48	1,05	0,42	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07	1,08
0,57	1,07	0,50	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11
0,51	1,06	0,45	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09	1,09
0,60	1,08	0,53	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,13
0,40	1,04	0,35	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06
0,69	1,12	0,61	1,11	1,12	1,14	1,14	1,16	1,18	1,20
0,46	1,05	0,41	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07	1,08
0,91	1,21	0,80	1,20	1,22	1,24	1,26	1,28	1,32	1,36
1,14	1,35	1,01	1,33	1,36	1,41	1,44	1,49	1,56	1,66
0,90	1,18	0,80	1,17	1,18	1,21	1,22	1,24	1,27	1,30
0,76	1,15	0,67	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,99	1,26	0,88	1,25	1,27	1,30	1,32	1,36	1,40	1,46
1,14	1,41	1,01	1,39	1,42	1,48	1,52	1,59	1,68	1,80
0,63	1,10	0,56	1,10	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16
0,78	1,15	0,69	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,78	1,15	0,69	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,76	1,14	0,67	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
0,66	1,10	0,58	1,10	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16
0,68	1,11	0,60	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16	1,18
0,84	1,15	0,74	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,55	1,10	0,49	1,10	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16
1,06	1,29	0,94	1,27	1,30	1,34	1,36	1,40	1,46	1,52
0,49	1,05	0,43	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07	1,08
0,75	1,13	0,66	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17	1,19	1,21

0,78	1,14	0,69	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
0,65	1,10	0,57	1,10	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16
0,58	1,07	0,51	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11

Fonte: O autor

Tabela 12 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para Fck = 45MPa

F _{Req.}	Ordem	Equações	$\gamma_z(\alpha=0,6)$	Eq.
0,80	3º grau	$\gamma_z = 0,60\alpha^3 - 0,69\alpha^2 + 0,53\alpha + 0,91$	1,109	(6.41a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,58\alpha^2 - 0,33\alpha + 1,09$	1,101	(6.41b)
0,75	3º grau	$\gamma_z = 0,70\alpha^3 - 0,83\alpha^2 + 0,62\alpha + 0,89$	1,114	(6.42a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,66\alpha^2 - 0,39\alpha + 1,11$	1,114	(6.42b)
0,70	3º grau	$\gamma_z = 0,88\alpha^3 - 1,09\alpha^2 + 0,77\alpha + 0,86$	1,120	(6.43a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,78\alpha^2 - 0,49\alpha + 1,13$	1,117	(6.43b)
0,65	3º grau	$\gamma_z = 1,01\alpha^3 - 1,28\alpha^2 + 0,89\alpha + 0,84$	1,131	(6.44a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,87\alpha^2 - 0,56\alpha + 1,15$	1,127	(6.44b)
0,60	3º grau	$\gamma_z = 1,26\alpha^3 - 1,65\alpha^2 + 1,11\alpha + 0,80$	1,144	(6.45a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,03\alpha^2 - 0,70\alpha + 1,19$	1,141	(6.45b)
0,55	3º grau	$\gamma_z = 1,63\alpha^3 - 2,22\alpha^2 + 1,44\alpha + 0,74$	1,157	(6.46a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,25\alpha^2 - 0,89\alpha + 1,24$	1,156	(6.46b)
0,50	3º grau	$\gamma_z = 2,20\alpha^3 - 3,11\alpha^2 + 1,96\alpha + 0,65$	1,182	(6.47a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,56\alpha^2 - 1,19\alpha + 1,32$	1,168	(6.47b)

Fonte: O autor

Tabela 13 - Valores do parâmetro α e do coeficiente γ_z para fck = 50MPa

$\alpha_{(0)}$	$\gamma_{z(0)}$	$\alpha_{(ar;50)}$	$\gamma_{z(ar;50;0,80)}$	$\gamma_{z(ar;50;0,75)}$	$\gamma_{z(ar;50;0,70)}$	$\gamma_{z(ar;50;0,65)}$	$\gamma_{z(ar;50;0,60)}$	$\gamma_{z(ar;50;0,55)}$	$\gamma_{z(ar;50;0,50)}$
0,97	1,23	0,83	1,20	1,22	1,25	1,26	1,29	1,33	1,37
0,75	1,14	0,64	1,13	1,13	1,15	1,16	1,17	1,19	1,22
0,87	1,19	0,74	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27	1,30
0,76	1,13	0,65	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
0,73	1,12	0,62	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18
1,11	1,38	0,95	1,33	1,36	1,41	1,44	1,50	1,57	1,67
0,66	1,11	0,56	1,10	1,11	1,12	1,12	1,14	1,15	1,17
0,81	1,16	0,69	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,72	1,11	0,62	1,10	1,11	1,12	1,12	1,14	1,15	1,17
0,47	1,05	0,40	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07
0,80	1,15	0,68	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
1,17	1,40	1,00	1,35	1,38	1,43	1,47	1,53	1,61	1,71
1,22	1,44	1,04	1,38	1,42	1,48	1,52	1,59	1,68	1,80

0,80	1,18	0,68	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,28
0,86	1,18	0,74	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,28
0,78	1,16	0,67	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,25
0,70	1,12	0,60	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18
0,99	1,26	0,85	1,23	1,25	1,28	1,30	1,33	1,37	1,43
0,95	1,23	0,81	1,20	1,22	1,25	1,26	1,29	1,33	1,37
1,03	1,27	0,88	1,24	1,26	1,29	1,31	1,35	1,39	1,45
0,84	1,19	0,72	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27	1,30
0,71	1,13	0,61	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
0,83	1,15	0,71	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
0,66	1,09	0,56	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,14
1,08	1,31	0,92	1,27	1,30	1,34	1,36	1,40	1,45	1,52
0,69	1,12	0,59	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18
0,71	1,12	0,61	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18
0,64	1,09	0,55	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,14
0,72	1,12	0,62	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18
0,73	1,12	0,62	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18
0,83	1,18	0,71	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,28
0,49	1,06	0,42	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09
0,70	1,12	0,60	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18
0,48	1,05	0,41	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07
0,57	1,07	0,49	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10
0,51	1,06	0,44	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09
0,60	1,08	0,51	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12
0,40	1,04	0,34	1,04	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06
0,69	1,12	0,59	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18
0,46	1,05	0,39	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07
0,91	1,21	0,78	1,19	1,20	1,23	1,24	1,27	1,30	1,34
1,14	1,35	0,98	1,31	1,34	1,38	1,41	1,46	1,52	1,60
0,90	1,18	0,77	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,28
0,76	1,15	0,65	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
0,99	1,26	0,85	1,23	1,25	1,28	1,30	1,33	1,37	1,43
1,14	1,41	0,98	1,36	1,39	1,45	1,48	1,54	1,62	1,73
0,63	1,10	0,54	1,09	1,10	1,11	1,11	1,12	1,14	1,15
0,78	1,15	0,67	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
0,78	1,15	0,67	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
0,76	1,14	0,65	1,13	1,13	1,15	1,16	1,17	1,19	1,22
0,66	1,1	0,56	1,09	1,10	1,11	1,11	1,12	1,14	1,15
0,68	1,11	0,58	1,10	1,11	1,12	1,12	1,14	1,15	1,17
0,84	1,15	0,72	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23
0,55	1,10	0,47	1,09	1,10	1,11	1,11	1,12	1,14	1,15
1,06	1,29	0,91	1,26	1,28	1,31	1,34	1,37	1,42	1,48
0,49	1,05	0,42	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07
0,75	1,13	0,64	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20
0,78	1,14	0,67	1,13	1,13	1,15	1,16	1,17	1,19	1,22
0,65	1,10	0,56	1,09	1,10	1,11	1,11	1,12	1,14	1,15
0,58	1,07	0,50	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10

Fonte: O autor

Tabela 14 - Equações de correlação Alfa-Gama Z para Fck = 50MPa

F _{Req.}	Ordem	Equações	$\gamma_z(\alpha = 0,6)$	Eq.
0,80	3º grau	$\gamma_z = 0,59\alpha^3 - 0,64\alpha^2 + 0,48\alpha + 0,92$	1,111	(6.48a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,57\alpha^2 - 0,30\alpha + 1,08$	1,105	(6.48b)
0,75	3º grau	$\gamma_z = 0,68\alpha^3 - 0,77\alpha^2 + 0,56\alpha + 0,91$	1,116	(6.49a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,64\alpha^2 - 0,35\alpha + 1,09$	1,110	(6.49b)
0,70	3º grau	$\gamma_z = 0,85\alpha^3 - 1,00\alpha^2 + 0,70\alpha + 0,88$	1,124	(6.50a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,76\alpha^2 - 0,44\alpha + 1,11$	1,120	(6.50b)
0,65	3º grau	$\gamma_z = 0,97\alpha^3 - 1,16\alpha^2 + 0,80\alpha + 0,86$	1,132	(6.51a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,84\alpha^2 - 0,51\alpha + 1,13$	1,126	(6.51b)
0,60	3º grau	$\gamma_z = 1,20\alpha^3 - 1,49\alpha^2 + 0,99\alpha + 0,83$	1,147	(6.52a)
	2º grau	$\gamma_z = 0,98\alpha^2 - 0,63\alpha + 1,16$	1,135	(6.52b)
0,55	3º grau	$\gamma_z = 1,54\alpha^3 - 1,98\alpha^2 + 1,27\alpha + 0,78$	1,162	(6.53a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,18\alpha^2 - 0,80\alpha + 1,21$	1,155	(6.53b)
0,50	3º grau	$\gamma_z = 2,05\alpha^3 - 2,75\alpha^2 + 1,70\alpha + 0,70$	1,179	(6.54a)
	2º grau	$\gamma_z = 1,47\alpha^2 - 1,05\alpha + 1,27$	1,169	(6.54b)

Fonte: O autor

6.2 Tabelas para obtenção do valor do Gama-Z a partir do valor do Alfa para valores do F_{ck} e do F_{Req.}

De modo geral cada tabela está dividida em quatro regiões que são identificadas por cores:

Cor azul Identifica os valores para os quais a correlação não tem validade,

Cor verde Identifica os valores dos parâmetros de verificação de instabilidade global (na verdade, indicadores da deslocabilidade ou indeslocabilidade horizontal dos SEC) indicam a possibilidade de análise linear;

Cor amarela Identifica os valores indicam a possibilidade de aplicação da ANL simplificada conforme o item 15.7.2 da ABNT NBR 6118:2014,

Cor vermelha Identifica os valores indicam a necessidade de análise considerando a não-linearidade física e geométrica através de cálculo rigoroso, por

exemplo, o uso do processo P-delta comum em programas computacionais sofisticados de análise estrutural.

Tabela 15 - $\gamma z = \gamma z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 20\text{MPa})$ aproximação quadrática

Alfa	Fck = 20MPa (Quadrática)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,085	1,099	1,115	1,134	1,171	1,226	1,316
0,41	1,084	1,098	1,113	1,130	1,166	1,217	1,302
0,42	1,083	1,096	1,110	1,127	1,161	1,210	1,289
0,43	1,082	1,095	1,108	1,124	1,156	1,202	1,276
0,44	1,082	1,094	1,106	1,122	1,152	1,196	1,265
0,45	1,082	1,093	1,105	1,120	1,148	1,189	1,253
0,46	1,081	1,093	1,103	1,118	1,145	1,184	1,243
0,47	1,081	1,092	1,102	1,116	1,142	1,178	1,233
0,48	1,082	1,092	1,101	1,114	1,139	1,173	1,224
0,49	1,082	1,092	1,100	1,113	1,137	1,169	1,215
0,50	1,083	1,093	1,100	1,113	1,135	1,165	1,208
0,51	1,083	1,093	1,100	1,112	1,133	1,162	1,200
0,52	1,084	1,093	1,100	1,112	1,132	1,159	1,194
0,53	1,085	1,094	1,100	1,112	1,131	1,156	1,188
0,54	1,086	1,095	1,101	1,112	1,131	1,154	1,183
0,55	1,088	1,096	1,102	1,113	1,130	1,152	1,178
0,56	1,089	1,098	1,103	1,113	1,131	1,151	1,175
0,57	1,091	1,099	1,104	1,115	1,131	1,151	1,171
0,58	1,093	1,101	1,105	1,116	1,132	1,151	1,169
0,59	1,095	1,103	1,107	1,118	1,133	1,151	1,167
0,60	1,097	1,105	1,109	1,120	1,135	1,152	1,166
0,61	1,099	1,108	1,111	1,122	1,137	1,153	1,166
0,62	1,102	1,110	1,114	1,124	1,139	1,155	1,166
0,63	1,104	1,113	1,117	1,127	1,142	1,157	1,167
0,64	1,107	1,116	1,120	1,130	1,145	1,159	1,168
0,65	1,110	1,119	1,123	1,134	1,148	1,163	1,170
0,66	1,113	1,122	1,126	1,137	1,152	1,166	1,173
0,67	1,117	1,126	1,130	1,141	1,156	1,170	1,177
0,68	1,120	1,129	1,134	1,146	1,160	1,175	1,181
0,69	1,124	1,133	1,138	1,150	1,165	1,180	1,186
0,70	1,128	1,137	1,143	1,155	1,170	1,185	1,192
0,71	1,132	1,142	1,148	1,160	1,176	1,191	1,198
0,72	1,136	1,146	1,152	1,165	1,182	1,198	1,205

0,73	1,140	1,151	1,158	1,171	1,188	1,205	1,212
0,74	1,145	1,156	1,163	1,177	1,194	1,212	1,220
0,75	1,149	1,161	1,169	1,183	1,201	1,220	1,229
0,76	1,154	1,166	1,175	1,190	1,209	1,228	1,239
0,77	1,159	1,171	1,181	1,196	1,216	1,237	1,249
0,78	1,164	1,177	1,187	1,203	1,224	1,246	1,260
0,79	1,170	1,183	1,194	1,211	1,232	1,256	1,272
0,80	1,175	1,189	1,201	1,218	1,241	1,266	1,284
0,81	1,181	1,195	1,208	1,226	1,250	1,277	1,297
0,82	1,187	1,201	1,215	1,234	1,260	1,288	1,311
0,83	1,193	1,208	1,223	1,243	1,269	1,300	1,325
0,84	1,199	1,215	1,231	1,252	1,280	1,312	1,340
0,85	1,205	1,222	1,239	1,261	1,290	1,325	1,355
0,86	1,212	1,229	1,247	1,270	1,301	1,338	1,372
0,87	1,218	1,236	1,256	1,280	1,312	1,351	1,389
0,88	1,225	1,244	1,265	1,290	1,324	1,365	1,406
0,89	1,232	1,252	1,274	1,300	1,336	1,380	1,425
0,90	1,239	1,260	1,283	1,310	1,348	1,395	1,444
0,91	1,247	1,268	1,293	1,321	1,360	1,410	1,463
0,92	1,254	1,276	1,303	1,332	1,373	1,426	1,483
0,93	1,262	1,285	1,313	1,343	1,387	1,442	1,504
0,94	1,270	1,293	1,323	1,355	1,400	1,459	1,526
0,95	1,278	1,302	1,334	1,367	1,414	1,476	1,548
0,96	1,286	1,312	1,344	1,379	1,429	1,494	1,571
0,97	1,294	1,321	1,355	1,391	1,444	1,512	1,595
0,98	1,303	1,330	1,367	1,404	1,459	1,531	1,619
0,99	1,311	1,340	1,378	1,417	1,474	1,550	1,644

Fonte: O Autor

Tabela 16 - $\gamma z = \gamma z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 20\text{MPa})$ aproximação cúbica

Alfa	Fck = 20MPa (Cúbica)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,032	1,030	1,022	1,016	1,002	0,985	0,928
0,41	1,036	1,035	1,028	1,024	1,012	0,998	0,949
0,42	1,040	1,040	1,034	1,031	1,022	1,011	0,969
0,43	1,045	1,045	1,040	1,038	1,031	1,024	0,988
0,44	1,049	1,049	1,046	1,045	1,040	1,036	1,007
0,45	1,053	1,054	1,052	1,051	1,048	1,047	1,024
0,46	1,057	1,059	1,058	1,058	1,056	1,058	1,041
0,47	1,061	1,063	1,063	1,064	1,064	1,069	1,056

0,48	1,065	1,068	1,068	1,070	1,072	1,079	1,071
0,49	1,069	1,072	1,074	1,076	1,079	1,088	1,085
0,50	1,073	1,076	1,079	1,081	1,086	1,098	1,099
0,51	1,076	1,080	1,084	1,087	1,093	1,106	1,111
0,52	1,080	1,085	1,089	1,092	1,100	1,115	1,124
0,53	1,084	1,089	1,093	1,097	1,106	1,123	1,135
0,54	1,087	1,093	1,098	1,103	1,113	1,131	1,146
0,55	1,091	1,097	1,103	1,108	1,119	1,138	1,156
0,56	1,095	1,101	1,107	1,112	1,125	1,146	1,166
0,57	1,098	1,105	1,112	1,117	1,131	1,153	1,175
0,58	1,102	1,109	1,116	1,122	1,136	1,160	1,184
0,59	1,106	1,112	1,121	1,127	1,142	1,166	1,193
0,60	1,109	1,116	1,125	1,132	1,148	1,173	1,201
0,61	1,113	1,120	1,130	1,136	1,153	1,179	1,208
0,62	1,117	1,124	1,134	1,141	1,159	1,185	1,216
0,63	1,120	1,128	1,138	1,145	1,164	1,191	1,223
0,64	1,124	1,132	1,143	1,150	1,169	1,197	1,230
0,65	1,128	1,136	1,147	1,155	1,175	1,203	1,236
0,66	1,132	1,140	1,151	1,159	1,180	1,208	1,243
0,67	1,135	1,144	1,156	1,164	1,185	1,214	1,249
0,68	1,139	1,148	1,160	1,168	1,190	1,220	1,255
0,69	1,143	1,152	1,165	1,173	1,196	1,226	1,261
0,70	1,147	1,156	1,170	1,178	1,201	1,231	1,268
0,71	1,151	1,161	1,174	1,183	1,207	1,237	1,274
0,72	1,155	1,165	1,179	1,188	1,212	1,243	1,280
0,73	1,159	1,169	1,184	1,193	1,218	1,249	1,286
0,74	1,164	1,174	1,189	1,198	1,224	1,255	1,292
0,75	1,168	1,178	1,194	1,203	1,230	1,261	1,299
0,76	1,173	1,183	1,199	1,208	1,236	1,267	1,305
0,77	1,177	1,188	1,204	1,214	1,242	1,274	1,312
0,78	1,182	1,193	1,210	1,219	1,248	1,280	1,319
0,79	1,187	1,198	1,215	1,225	1,255	1,287	1,326
0,80	1,191	1,203	1,221	1,231	1,261	1,294	1,334
0,81	1,196	1,208	1,227	1,237	1,268	1,302	1,342
0,82	1,201	1,213	1,233	1,243	1,275	1,310	1,350
0,83	1,207	1,219	1,239	1,250	1,283	1,318	1,358
0,84	1,212	1,224	1,246	1,257	1,291	1,326	1,368
0,85	1,218	1,230	1,252	1,263	1,298	1,335	1,377
0,86	1,223	1,236	1,259	1,271	1,307	1,344	1,387
0,87	1,229	1,242	1,266	1,278	1,315	1,353	1,398
0,88	1,235	1,249	1,273	1,286	1,324	1,363	1,409

0,89	1,241	1,255	1,281	1,293	1,333	1,373	1,421
0,90	1,247	1,262	1,288	1,302	1,343	1,384	1,433
0,91	1,254	1,269	1,296	1,310	1,353	1,395	1,446
0,92	1,260	1,276	1,304	1,319	1,363	1,406	1,460
0,93	1,267	1,283	1,313	1,328	1,374	1,419	1,475
0,94	1,274	1,290	1,321	1,337	1,385	1,431	1,490
0,95	1,281	1,298	1,330	1,347	1,396	1,445	1,506
0,96	1,289	1,306	1,340	1,357	1,408	1,458	1,523
0,97	1,296	1,314	1,349	1,367	1,420	1,473	1,541
0,98	1,304	1,323	1,359	1,378	1,433	1,488	1,560
0,99	1,312	1,331	1,369	1,389	1,446	1,504	1,579

Fonte: O Autor

Tabela 17 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 25\text{MPa})$ aproximação quadrática

Alfa	Fck = 25MPa (Quadrática)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,067	1,078	1,092	1,100	1,117	1,147	1,193
0,41	1,067	1,078	1,091	1,099	1,115	1,143	1,186
0,42	1,067	1,078	1,090	1,098	1,113	1,139	1,180
0,43	1,067	1,078	1,090	1,097	1,111	1,136	1,174
0,44	1,067	1,078	1,090	1,096	1,110	1,134	1,169
0,45	1,068	1,078	1,090	1,096	1,109	1,131	1,164
0,46	1,068	1,079	1,090	1,096	1,108	1,129	1,160
0,47	1,069	1,079	1,090	1,096	1,107	1,128	1,156
0,48	1,070	1,080	1,091	1,096	1,107	1,126	1,153
0,49	1,071	1,081	1,092	1,097	1,107	1,125	1,150
0,50	1,073	1,083	1,093	1,098	1,108	1,125	1,148
0,51	1,074	1,084	1,094	1,099	1,108	1,125	1,146
0,52	1,075	1,085	1,095	1,100	1,109	1,125	1,145
0,53	1,077	1,087	1,097	1,101	1,110	1,126	1,144
0,54	1,079	1,089	1,099	1,103	1,112	1,127	1,144
0,55	1,081	1,091	1,101	1,105	1,114	1,128	1,144
0,56	1,083	1,093	1,103	1,107	1,116	1,130	1,145
0,57	1,085	1,096	1,105	1,110	1,118	1,132	1,146
0,58	1,088	1,098	1,108	1,112	1,121	1,135	1,148
0,59	1,090	1,101	1,111	1,115	1,124	1,138	1,150
0,60	1,093	1,104	1,114	1,118	1,127	1,141	1,153
0,61	1,096	1,107	1,117	1,122	1,131	1,144	1,156
0,62	1,099	1,110	1,121	1,125	1,135	1,148	1,160
0,63	1,102	1,114	1,125	1,129	1,139	1,153	1,164

0,64	1,105	1,117	1,128	1,133	1,143	1,158	1,169
0,65	1,108	1,121	1,133	1,138	1,148	1,163	1,174
0,66	1,112	1,125	1,137	1,142	1,153	1,168	1,180
0,67	1,116	1,129	1,142	1,147	1,158	1,174	1,187
0,68	1,120	1,133	1,146	1,152	1,164	1,181	1,193
0,69	1,124	1,138	1,151	1,158	1,170	1,187	1,201
0,70	1,128	1,143	1,157	1,163	1,176	1,194	1,209
0,71	1,132	1,147	1,162	1,169	1,183	1,202	1,217
0,72	1,136	1,152	1,168	1,175	1,190	1,209	1,226
0,73	1,141	1,157	1,173	1,181	1,197	1,218	1,235
0,74	1,146	1,163	1,179	1,188	1,204	1,226	1,245
0,75	1,151	1,168	1,186	1,194	1,212	1,235	1,256
0,76	1,156	1,174	1,192	1,201	1,220	1,244	1,267
0,77	1,161	1,180	1,199	1,209	1,228	1,254	1,278
0,78	1,166	1,186	1,206	1,216	1,237	1,264	1,290
0,79	1,172	1,192	1,213	1,224	1,246	1,274	1,302
0,80	1,177	1,198	1,220	1,232	1,255	1,285	1,315
0,81	1,183	1,204	1,228	1,240	1,264	1,296	1,329
0,82	1,189	1,211	1,235	1,248	1,274	1,308	1,343
0,83	1,195	1,218	1,243	1,257	1,284	1,320	1,357
0,84	1,201	1,225	1,251	1,266	1,294	1,332	1,372
0,85	1,207	1,232	1,260	1,275	1,305	1,345	1,387
0,86	1,214	1,239	1,268	1,284	1,316	1,358	1,403
0,87	1,221	1,247	1,277	1,294	1,327	1,371	1,420
0,88	1,227	1,255	1,286	1,304	1,339	1,385	1,437
0,89	1,234	1,262	1,295	1,314	1,351	1,399	1,454
0,90	1,241	1,271	1,305	1,324	1,363	1,414	1,472
0,91	1,249	1,279	1,314	1,334	1,375	1,429	1,491
0,92	1,256	1,287	1,324	1,345	1,388	1,444	1,510
0,93	1,263	1,296	1,334	1,356	1,401	1,460	1,529
0,94	1,271	1,304	1,344	1,367	1,414	1,476	1,549
0,95	1,279	1,313	1,355	1,379	1,428	1,492	1,570
0,96	1,287	1,322	1,365	1,391	1,442	1,509	1,591
0,97	1,295	1,331	1,376	1,403	1,456	1,526	1,612
0,98	1,303	1,341	1,387	1,415	1,470	1,544	1,634
0,99	1,311	1,350	1,399	1,427	1,485	1,562	1,657

Fonte: O Autor

Tabela 18 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 25\text{MPa.})$ aproximação cúbica

Alfa	Fck = 25MPa (Cúbica)
------	----------------------

	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,038	1,042	1,039	1,045	1,037	1,030	1,012
0,41	1,042	1,046	1,044	1,050	1,044	1,039	1,024
0,42	1,045	1,050	1,049	1,056	1,050	1,047	1,036
0,43	1,049	1,054	1,054	1,061	1,057	1,055	1,047
0,44	1,052	1,058	1,059	1,066	1,063	1,063	1,058
0,45	1,056	1,062	1,063	1,071	1,069	1,071	1,068
0,46	1,059	1,065	1,068	1,076	1,074	1,078	1,078
0,47	1,063	1,069	1,072	1,081	1,080	1,085	1,087
0,48	1,066	1,073	1,076	1,086	1,086	1,092	1,096
0,49	1,069	1,076	1,081	1,090	1,091	1,099	1,104
0,50	1,073	1,080	1,085	1,095	1,096	1,105	1,113
0,51	1,076	1,084	1,089	1,100	1,101	1,111	1,120
0,52	1,079	1,087	1,093	1,104	1,107	1,117	1,128
0,53	1,082	1,091	1,098	1,109	1,112	1,123	1,135
0,54	1,086	1,094	1,102	1,113	1,116	1,129	1,142
0,55	1,089	1,098	1,106	1,117	1,121	1,135	1,149
0,56	1,092	1,101	1,110	1,122	1,126	1,141	1,156
0,57	1,096	1,105	1,114	1,126	1,131	1,146	1,163
0,58	1,099	1,109	1,118	1,131	1,136	1,152	1,169
0,59	1,102	1,112	1,123	1,135	1,141	1,157	1,175
0,60	1,106	1,116	1,127	1,139	1,145	1,163	1,181
0,61	1,109	1,120	1,131	1,144	1,150	1,168	1,187
0,62	1,113	1,123	1,135	1,148	1,155	1,173	1,193
0,63	1,116	1,127	1,140	1,153	1,160	1,179	1,199
0,64	1,120	1,131	1,144	1,157	1,165	1,184	1,205
0,65	1,123	1,135	1,148	1,162	1,170	1,190	1,211
0,66	1,127	1,139	1,153	1,167	1,175	1,195	1,217
0,67	1,131	1,143	1,157	1,172	1,180	1,201	1,224
0,68	1,135	1,147	1,162	1,176	1,185	1,207	1,230
0,69	1,139	1,151	1,167	1,181	1,190	1,213	1,236
0,70	1,143	1,155	1,172	1,187	1,196	1,219	1,243
0,71	1,147	1,160	1,177	1,192	1,201	1,225	1,249
0,72	1,151	1,164	1,182	1,197	1,207	1,231	1,256
0,73	1,155	1,169	1,187	1,202	1,213	1,238	1,263
0,74	1,159	1,173	1,192	1,208	1,219	1,245	1,270
0,75	1,164	1,178	1,198	1,214	1,225	1,252	1,278
0,76	1,168	1,183	1,203	1,220	1,232	1,259	1,286
0,77	1,173	1,188	1,209	1,226	1,238	1,266	1,294
0,78	1,178	1,193	1,215	1,232	1,245	1,274	1,302

0,79	1,183	1,198	1,221	1,238	1,252	1,282	1,311
0,80	1,188	1,204	1,227	1,245	1,259	1,290	1,320
0,81	1,193	1,209	1,234	1,252	1,267	1,298	1,330
0,82	1,198	1,215	1,240	1,259	1,274	1,307	1,340
0,83	1,203	1,221	1,247	1,266	1,282	1,316	1,350
0,84	1,209	1,227	1,254	1,273	1,291	1,326	1,361
0,85	1,214	1,233	1,262	1,281	1,299	1,336	1,373
0,86	1,220	1,240	1,269	1,289	1,308	1,346	1,385
0,87	1,226	1,246	1,277	1,297	1,317	1,357	1,397
0,88	1,232	1,253	1,285	1,305	1,327	1,368	1,410
0,89	1,239	1,260	1,293	1,314	1,337	1,380	1,424
0,90	1,245	1,267	1,301	1,323	1,347	1,392	1,438
0,91	1,252	1,274	1,310	1,332	1,357	1,404	1,453
0,92	1,259	1,282	1,319	1,342	1,368	1,417	1,469
0,93	1,266	1,289	1,328	1,352	1,379	1,431	1,485
0,94	1,273	1,297	1,337	1,362	1,391	1,444	1,502
0,95	1,280	1,306	1,347	1,372	1,403	1,459	1,520
0,96	1,288	1,314	1,357	1,383	1,416	1,474	1,538
0,97	1,295	1,323	1,367	1,394	1,429	1,490	1,557
0,98	1,303	1,332	1,378	1,406	1,442	1,506	1,577
0,99	1,312	1,341	1,389	1,418	1,456	1,523	1,598

Fonte: O Autor

Tabela 19 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 30\text{MPa})$ aproximação quadrática

Alfa	Fck = 30MPa (Quadrática)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,066	1,072	1,078	1,090	1,097	1,121	1,152
0,41	1,066	1,072	1,077	1,090	1,096	1,119	1,148
0,42	1,067	1,072	1,078	1,089	1,095	1,117	1,144
0,43	1,068	1,073	1,078	1,089	1,094	1,116	1,141
0,44	1,069	1,074	1,078	1,090	1,094	1,115	1,138
0,45	1,070	1,075	1,079	1,090	1,094	1,114	1,135
0,46	1,071	1,076	1,080	1,090	1,094	1,113	1,133
0,47	1,072	1,078	1,081	1,091	1,095	1,113	1,132
0,48	1,074	1,079	1,082	1,092	1,095	1,113	1,131
0,49	1,076	1,081	1,083	1,094	1,096	1,114	1,130
0,50	1,078	1,083	1,085	1,095	1,098	1,115	1,130
0,51	1,079	1,084	1,087	1,097	1,099	1,116	1,130
0,52	1,082	1,087	1,089	1,099	1,101	1,118	1,131
0,53	1,084	1,089	1,091	1,101	1,103	1,120	1,132

0,54	1,086	1,091	1,093	1,103	1,105	1,122	1,134
0,55	1,089	1,094	1,096	1,106	1,108	1,125	1,136
0,56	1,091	1,097	1,099	1,109	1,111	1,128	1,139
0,57	1,094	1,100	1,102	1,112	1,114	1,131	1,142
0,58	1,097	1,103	1,105	1,115	1,117	1,135	1,146
0,59	1,100	1,106	1,108	1,119	1,121	1,139	1,150
0,60	1,104	1,110	1,112	1,122	1,125	1,143	1,154
0,61	1,107	1,113	1,115	1,126	1,129	1,148	1,159
0,62	1,111	1,117	1,119	1,131	1,134	1,153	1,164
0,63	1,114	1,121	1,123	1,135	1,139	1,158	1,170
0,64	1,118	1,125	1,128	1,140	1,144	1,164	1,176
0,65	1,122	1,129	1,132	1,145	1,149	1,170	1,183
0,66	1,126	1,134	1,137	1,150	1,155	1,177	1,190
0,67	1,130	1,138	1,142	1,155	1,161	1,183	1,198
0,68	1,135	1,143	1,147	1,161	1,167	1,191	1,206
0,69	1,139	1,148	1,152	1,167	1,174	1,198	1,215
0,70	1,144	1,153	1,157	1,173	1,180	1,206	1,224
0,71	1,149	1,158	1,163	1,179	1,187	1,214	1,234
0,72	1,154	1,164	1,169	1,185	1,195	1,222	1,244
0,73	1,159	1,169	1,175	1,192	1,202	1,231	1,254
0,74	1,164	1,175	1,181	1,199	1,210	1,240	1,265
0,75	1,169	1,181	1,188	1,206	1,218	1,250	1,276
0,76	1,175	1,187	1,194	1,214	1,227	1,260	1,288
0,77	1,181	1,193	1,201	1,221	1,235	1,270	1,300
0,78	1,186	1,199	1,208	1,229	1,244	1,281	1,313
0,79	1,192	1,206	1,215	1,237	1,253	1,292	1,326
0,80	1,198	1,212	1,222	1,246	1,263	1,303	1,340
0,81	1,205	1,219	1,230	1,254	1,273	1,314	1,354
0,82	1,211	1,226	1,238	1,263	1,283	1,326	1,369
0,83	1,218	1,233	1,246	1,272	1,293	1,339	1,384
0,84	1,224	1,241	1,254	1,281	1,303	1,351	1,399
0,85	1,231	1,248	1,262	1,291	1,314	1,364	1,415
0,86	1,238	1,256	1,271	1,300	1,325	1,378	1,432
0,87	1,245	1,264	1,279	1,310	1,337	1,391	1,449
0,88	1,252	1,272	1,288	1,320	1,349	1,405	1,466
0,89	1,260	1,280	1,297	1,331	1,360	1,420	1,484
0,90	1,267	1,288	1,307	1,341	1,373	1,434	1,502
0,91	1,275	1,297	1,316	1,352	1,385	1,449	1,521
0,92	1,283	1,305	1,326	1,363	1,398	1,465	1,540
0,93	1,290	1,314	1,336	1,375	1,411	1,480	1,560
0,94	1,299	1,323	1,346	1,386	1,424	1,496	1,580

0,95	1,307	1,332	1,356	1,398	1,438	1,513	1,600
0,96	1,315	1,341	1,366	1,410	1,452	1,530	1,621
0,97	1,324	1,351	1,377	1,422	1,466	1,547	1,643
0,98	1,332	1,360	1,388	1,434	1,480	1,564	1,665
0,99	1,341	1,370	1,399	1,447	1,495	1,582	1,687

Fonte: O Autor

Tabela 20 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 30\text{MPa})$ aproximação cúbica

Alfa	Fck = 30MPa (Cúbica)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,045	1,044	1,044	1,048	1,044	1,038	1,051
0,41	1,048	1,048	1,048	1,053	1,050	1,046	1,060
0,42	1,052	1,052	1,053	1,057	1,056	1,053	1,069
0,43	1,055	1,055	1,057	1,062	1,062	1,060	1,077
0,44	1,058	1,059	1,061	1,066	1,067	1,067	1,085
0,45	1,061	1,062	1,065	1,071	1,072	1,074	1,093
0,46	1,064	1,066	1,069	1,075	1,078	1,080	1,100
0,47	1,067	1,069	1,072	1,079	1,083	1,086	1,108
0,48	1,070	1,073	1,076	1,083	1,088	1,092	1,114
0,49	1,073	1,077	1,080	1,087	1,093	1,098	1,121
0,50	1,076	1,080	1,084	1,091	1,098	1,104	1,128
0,51	1,079	1,084	1,087	1,095	1,102	1,109	1,134
0,52	1,082	1,087	1,091	1,099	1,107	1,115	1,140
0,53	1,086	1,091	1,095	1,103	1,112	1,120	1,146
0,54	1,089	1,094	1,099	1,107	1,116	1,126	1,152
0,55	1,092	1,098	1,102	1,111	1,121	1,131	1,157
0,56	1,095	1,101	1,106	1,115	1,126	1,136	1,163
0,57	1,098	1,105	1,110	1,119	1,130	1,141	1,169
0,58	1,101	1,109	1,113	1,123	1,135	1,147	1,174
0,59	1,105	1,112	1,117	1,127	1,139	1,152	1,180
0,60	1,108	1,116	1,121	1,131	1,144	1,157	1,185
0,61	1,111	1,120	1,125	1,135	1,149	1,162	1,191
0,62	1,115	1,124	1,129	1,140	1,154	1,168	1,197
0,63	1,118	1,128	1,133	1,144	1,158	1,173	1,202
0,64	1,122	1,132	1,137	1,148	1,163	1,179	1,208
0,65	1,126	1,136	1,141	1,153	1,168	1,184	1,214
0,66	1,129	1,140	1,145	1,157	1,174	1,190	1,220
0,67	1,133	1,144	1,150	1,162	1,179	1,196	1,227
0,68	1,137	1,149	1,154	1,167	1,184	1,202	1,233
0,69	1,141	1,153	1,159	1,172	1,190	1,208	1,240

0,70	1,145	1,158	1,163	1,177	1,195	1,214	1,246
0,71	1,149	1,163	1,168	1,182	1,201	1,220	1,254
0,72	1,153	1,167	1,173	1,187	1,207	1,227	1,261
0,73	1,158	1,172	1,178	1,192	1,213	1,234	1,268
0,74	1,162	1,177	1,183	1,198	1,220	1,241	1,276
0,75	1,167	1,183	1,188	1,204	1,226	1,249	1,285
0,76	1,171	1,188	1,194	1,210	1,233	1,256	1,293
0,77	1,176	1,193	1,199	1,216	1,240	1,264	1,302
0,78	1,181	1,199	1,205	1,222	1,247	1,272	1,312
0,79	1,186	1,205	1,211	1,229	1,255	1,281	1,321
0,80	1,191	1,211	1,217	1,236	1,263	1,290	1,332
0,81	1,197	1,217	1,224	1,243	1,271	1,299	1,342
0,82	1,202	1,223	1,230	1,250	1,279	1,309	1,354
0,83	1,208	1,229	1,237	1,257	1,288	1,319	1,365
0,84	1,214	1,236	1,244	1,265	1,296	1,329	1,377
0,85	1,219	1,243	1,251	1,273	1,306	1,340	1,390
0,86	1,226	1,250	1,258	1,281	1,315	1,351	1,403
0,87	1,232	1,257	1,266	1,290	1,325	1,362	1,417
0,88	1,238	1,264	1,274	1,299	1,335	1,375	1,432
0,89	1,245	1,272	1,282	1,308	1,346	1,387	1,447
0,90	1,252	1,280	1,291	1,317	1,357	1,400	1,462
0,91	1,259	1,288	1,299	1,327	1,368	1,414	1,479
0,92	1,266	1,296	1,308	1,337	1,380	1,428	1,496
0,93	1,273	1,304	1,317	1,348	1,392	1,442	1,514
0,94	1,281	1,313	1,327	1,358	1,405	1,457	1,532
0,95	1,288	1,322	1,337	1,369	1,418	1,473	1,552
0,96	1,296	1,331	1,347	1,381	1,431	1,489	1,572
0,97	1,304	1,340	1,357	1,392	1,445	1,506	1,592
0,98	1,313	1,350	1,368	1,405	1,460	1,523	1,614
0,99	1,321	1,360	1,379	1,417	1,475	1,541	1,637

Fonte: O Autor

Tabela 21 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 35\text{MPa})$ aproximação quadrática

Alfa	Fck = 35MPa (Quadrática)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,053	1,055	1,063	1,069	1,085	1,096	1,110
0,41	1,054	1,056	1,064	1,070	1,085	1,096	1,109
0,42	1,055	1,057	1,065	1,070	1,086	1,096	1,108
0,43	1,056	1,058	1,066	1,071	1,086	1,096	1,107
0,44	1,057	1,059	1,067	1,072	1,087	1,096	1,107

0,45	1,059	1,061	1,068	1,073	1,088	1,097	1,107
0,46	1,060	1,062	1,070	1,075	1,090	1,098	1,107
0,47	1,062	1,064	1,071	1,076	1,091	1,099	1,108
0,48	1,064	1,066	1,073	1,078	1,093	1,101	1,109
0,49	1,065	1,068	1,075	1,080	1,095	1,103	1,111
0,50	1,068	1,070	1,078	1,083	1,098	1,105	1,113
0,51	1,070	1,072	1,080	1,085	1,100	1,107	1,115
0,52	1,072	1,075	1,082	1,087	1,103	1,110	1,117
0,53	1,074	1,077	1,085	1,090	1,106	1,113	1,120
0,54	1,077	1,080	1,088	1,093	1,109	1,117	1,124
0,55	1,080	1,083	1,091	1,096	1,112	1,120	1,128
0,56	1,082	1,086	1,094	1,100	1,116	1,124	1,132
0,57	1,085	1,089	1,098	1,103	1,120	1,128	1,136
0,58	1,088	1,092	1,101	1,107	1,124	1,133	1,141
0,59	1,092	1,096	1,105	1,111	1,129	1,137	1,146
0,60	1,095	1,099	1,109	1,115	1,133	1,142	1,152
0,61	1,098	1,103	1,113	1,120	1,138	1,148	1,158
0,62	1,102	1,107	1,118	1,124	1,143	1,153	1,164
0,63	1,105	1,111	1,122	1,129	1,148	1,159	1,171
0,64	1,109	1,115	1,127	1,134	1,154	1,165	1,178
0,65	1,113	1,119	1,132	1,139	1,160	1,172	1,186
0,66	1,117	1,124	1,137	1,144	1,166	1,179	1,193
0,67	1,121	1,128	1,142	1,150	1,172	1,186	1,202
0,68	1,126	1,133	1,147	1,155	1,179	1,193	1,210
0,69	1,130	1,138	1,153	1,161	1,185	1,201	1,219
0,70	1,135	1,143	1,158	1,167	1,192	1,209	1,229
0,71	1,139	1,148	1,164	1,174	1,199	1,217	1,238
0,72	1,144	1,153	1,170	1,180	1,207	1,225	1,248
0,73	1,149	1,159	1,176	1,187	1,215	1,234	1,259
0,74	1,154	1,164	1,183	1,194	1,222	1,243	1,269
0,75	1,159	1,170	1,189	1,201	1,231	1,253	1,281
0,76	1,165	1,176	1,196	1,208	1,239	1,262	1,292
0,77	1,170	1,182	1,203	1,215	1,248	1,272	1,304
0,78	1,176	1,188	1,210	1,223	1,256	1,282	1,316
0,79	1,181	1,194	1,217	1,231	1,265	1,293	1,329
0,80	1,187	1,201	1,225	1,239	1,275	1,304	1,342
0,81	1,193	1,207	1,232	1,247	1,284	1,315	1,355
0,82	1,199	1,214	1,240	1,255	1,294	1,326	1,369
0,83	1,205	1,221	1,248	1,264	1,304	1,338	1,383
0,84	1,212	1,228	1,256	1,273	1,314	1,350	1,398
0,85	1,218	1,235	1,265	1,282	1,325	1,362	1,413

0,86	1,225	1,243	1,273	1,291	1,336	1,374	1,428
0,87	1,231	1,250	1,282	1,300	1,346	1,387	1,443
0,88	1,238	1,258	1,291	1,310	1,358	1,400	1,459
0,89	1,245	1,265	1,300	1,320	1,369	1,414	1,476
0,90	1,252	1,273	1,309	1,330	1,381	1,427	1,493
0,91	1,260	1,281	1,318	1,340	1,393	1,441	1,510
0,92	1,267	1,289	1,328	1,350	1,405	1,456	1,527
0,93	1,274	1,298	1,337	1,361	1,417	1,470	1,545
0,94	1,282	1,306	1,347	1,371	1,430	1,485	1,563
0,95	1,290	1,315	1,357	1,382	1,442	1,500	1,582
0,96	1,297	1,324	1,367	1,394	1,455	1,516	1,601
0,97	1,305	1,332	1,378	1,405	1,469	1,531	1,620
0,98	1,313	1,341	1,388	1,416	1,482	1,547	1,640
0,99	1,322	1,351	1,399	1,428	1,496	1,563	1,660

Fonte: O Autor

Tabela 22 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 35\text{MPa})$ aproximação cúbica

Alfa	Fck = 35MPa (Cúbica)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,038	1,045	1,054	1,057	1,060	1,063	1,066
0,41	1,041	1,048	1,058	1,061	1,065	1,069	1,073
0,42	1,044	1,051	1,062	1,065	1,070	1,074	1,080
0,43	1,046	1,054	1,065	1,069	1,074	1,079	1,086
0,44	1,049	1,057	1,069	1,072	1,079	1,084	1,093
0,45	1,052	1,061	1,072	1,076	1,083	1,089	1,099
0,46	1,055	1,064	1,076	1,080	1,088	1,094	1,105
0,47	1,058	1,067	1,079	1,084	1,092	1,099	1,111
0,48	1,061	1,070	1,083	1,088	1,096	1,104	1,116
0,49	1,063	1,073	1,086	1,091	1,101	1,109	1,122
0,50	1,066	1,076	1,090	1,095	1,105	1,114	1,128
0,51	1,069	1,079	1,094	1,099	1,109	1,119	1,133
0,52	1,072	1,083	1,097	1,103	1,114	1,123	1,139
0,53	1,075	1,086	1,101	1,106	1,118	1,128	1,144
0,54	1,078	1,089	1,104	1,110	1,123	1,133	1,149
0,55	1,081	1,093	1,108	1,114	1,127	1,138	1,155
0,56	1,084	1,096	1,112	1,118	1,131	1,142	1,160
0,57	1,087	1,099	1,116	1,122	1,136	1,147	1,166
0,58	1,090	1,103	1,119	1,126	1,141	1,152	1,171
0,59	1,094	1,106	1,123	1,130	1,145	1,157	1,177

0,60	1,097	1,110	1,127	1,134	1,150	1,162	1,183
0,61	1,100	1,114	1,131	1,138	1,155	1,168	1,189
0,62	1,104	1,117	1,135	1,143	1,160	1,173	1,195
0,63	1,107	1,121	1,140	1,147	1,165	1,178	1,201
0,64	1,111	1,125	1,144	1,152	1,170	1,184	1,207
0,65	1,114	1,129	1,148	1,156	1,176	1,190	1,213
0,66	1,118	1,133	1,153	1,161	1,181	1,196	1,220
0,67	1,122	1,137	1,157	1,166	1,187	1,202	1,227
0,68	1,126	1,142	1,162	1,171	1,192	1,208	1,234
0,69	1,129	1,146	1,167	1,176	1,198	1,214	1,241
0,70	1,134	1,151	1,172	1,182	1,204	1,221	1,249
0,71	1,138	1,155	1,177	1,187	1,211	1,228	1,256
0,72	1,142	1,160	1,182	1,193	1,217	1,235	1,264
0,73	1,146	1,165	1,188	1,198	1,224	1,242	1,273
0,74	1,151	1,170	1,193	1,204	1,231	1,250	1,281
0,75	1,155	1,175	1,199	1,210	1,238	1,257	1,290
0,76	1,160	1,180	1,205	1,217	1,245	1,265	1,300
0,77	1,165	1,186	1,211	1,223	1,253	1,274	1,309
0,78	1,170	1,191	1,217	1,230	1,260	1,282	1,319
0,79	1,175	1,197	1,224	1,237	1,268	1,291	1,330
0,80	1,180	1,203	1,230	1,244	1,277	1,301	1,341
0,81	1,186	1,209	1,237	1,251	1,285	1,310	1,352
0,82	1,191	1,215	1,244	1,258	1,294	1,320	1,364
0,83	1,197	1,221	1,251	1,266	1,303	1,330	1,376
0,84	1,203	1,228	1,258	1,274	1,313	1,341	1,389
0,85	1,209	1,234	1,266	1,282	1,322	1,352	1,402
0,86	1,215	1,241	1,274	1,291	1,332	1,363	1,416
0,87	1,221	1,248	1,282	1,300	1,343	1,375	1,430
0,88	1,228	1,256	1,290	1,309	1,353	1,387	1,445
0,89	1,234	1,263	1,299	1,318	1,364	1,400	1,460
0,90	1,241	1,271	1,308	1,328	1,376	1,413	1,476
0,91	1,248	1,279	1,317	1,337	1,387	1,427	1,492
0,92	1,255	1,287	1,326	1,348	1,399	1,441	1,509
0,93	1,263	1,295	1,335	1,358	1,412	1,455	1,527
0,94	1,270	1,304	1,345	1,369	1,425	1,470	1,546
0,95	1,278	1,313	1,355	1,380	1,438	1,485	1,565
0,96	1,286	1,322	1,366	1,391	1,451	1,501	1,584
0,97	1,294	1,331	1,376	1,403	1,465	1,518	1,605
0,98	1,303	1,340	1,387	1,415	1,480	1,535	1,626
0,99	1,311	1,350	1,398	1,427	1,495	1,552	1,647

Fonte: O Autor

Tabela 23 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 40\text{MPa})$ aproximação quadrática

Alfa	Fck = 40MPa (Quadrática)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,050	1,053	1,061	1,064	1,075	1,080	1,095
0,41	1,051	1,054	1,062	1,065	1,076	1,081	1,095
0,42	1,052	1,055	1,063	1,066	1,077	1,082	1,095
0,43	1,054	1,057	1,064	1,068	1,078	1,083	1,095
0,44	1,055	1,058	1,065	1,069	1,079	1,084	1,096
0,45	1,057	1,060	1,067	1,071	1,081	1,085	1,097
0,46	1,059	1,061	1,069	1,073	1,083	1,087	1,098
0,47	1,061	1,063	1,071	1,075	1,085	1,089	1,100
0,48	1,063	1,065	1,073	1,077	1,087	1,092	1,102
0,49	1,065	1,068	1,075	1,080	1,090	1,095	1,105
0,50	1,068	1,070	1,078	1,083	1,093	1,098	1,108
0,51	1,070	1,072	1,080	1,085	1,096	1,101	1,111
0,52	1,073	1,075	1,083	1,088	1,099	1,104	1,114
0,53	1,075	1,078	1,086	1,092	1,102	1,108	1,118
0,54	1,078	1,081	1,089	1,095	1,106	1,112	1,122
0,55	1,081	1,084	1,092	1,099	1,110	1,116	1,127
0,56	1,084	1,087	1,095	1,103	1,114	1,121	1,132
0,57	1,087	1,090	1,099	1,107	1,118	1,126	1,137
0,58	1,091	1,094	1,103	1,111	1,123	1,131	1,143
0,59	1,094	1,097	1,107	1,115	1,128	1,137	1,149
0,60	1,098	1,101	1,111	1,120	1,133	1,142	1,155
0,61	1,101	1,105	1,115	1,125	1,138	1,148	1,162
0,62	1,105	1,109	1,119	1,130	1,144	1,155	1,169
0,63	1,109	1,113	1,124	1,135	1,149	1,161	1,176
0,64	1,113	1,117	1,129	1,140	1,155	1,168	1,184
0,65	1,117	1,121	1,134	1,146	1,161	1,175	1,192
0,66	1,122	1,126	1,139	1,152	1,168	1,183	1,201
0,67	1,126	1,130	1,144	1,158	1,174	1,190	1,210
0,68	1,130	1,135	1,149	1,164	1,181	1,198	1,219
0,69	1,135	1,140	1,155	1,170	1,188	1,207	1,228
0,70	1,140	1,145	1,161	1,177	1,196	1,215	1,238
0,71	1,145	1,150	1,167	1,183	1,203	1,224	1,249
0,72	1,150	1,156	1,173	1,190	1,211	1,233	1,259
0,73	1,155	1,161	1,179	1,197	1,219	1,242	1,270
0,74	1,160	1,167	1,185	1,204	1,227	1,252	1,281
0,75	1,166	1,173	1,192	1,212	1,236	1,262	1,293

0,76	1,171	1,178	1,199	1,220	1,244	1,272	1,305
0,77	1,177	1,184	1,206	1,227	1,253	1,283	1,318
0,78	1,183	1,191	1,213	1,235	1,262	1,293	1,330
0,79	1,188	1,197	1,220	1,244	1,272	1,304	1,343
0,80	1,194	1,203	1,227	1,252	1,281	1,316	1,357
0,81	1,201	1,210	1,235	1,261	1,291	1,327	1,371
0,82	1,207	1,216	1,242	1,269	1,301	1,339	1,385
0,83	1,213	1,223	1,250	1,278	1,311	1,351	1,399
0,84	1,220	1,230	1,258	1,288	1,322	1,364	1,414
0,85	1,226	1,237	1,267	1,297	1,332	1,376	1,429
0,86	1,233	1,245	1,275	1,306	1,343	1,389	1,445
0,87	1,240	1,252	1,284	1,316	1,354	1,402	1,461
0,88	1,247	1,259	1,292	1,326	1,366	1,416	1,477
0,89	1,254	1,267	1,301	1,336	1,377	1,430	1,494
0,90	1,261	1,275	1,310	1,347	1,389	1,444	1,511
0,91	1,268	1,283	1,320	1,357	1,401	1,458	1,528
0,92	1,276	1,291	1,329	1,368	1,414	1,473	1,546
0,93	1,283	1,299	1,338	1,379	1,426	1,488	1,564
0,94	1,291	1,307	1,348	1,390	1,439	1,503	1,582
0,95	1,299	1,316	1,358	1,401	1,452	1,518	1,601
0,96	1,307	1,324	1,368	1,412	1,465	1,534	1,620
0,97	1,315	1,333	1,378	1,424	1,478	1,550	1,639
0,98	1,323	1,342	1,389	1,436	1,492	1,567	1,659
0,99	1,332	1,351	1,399	1,448	1,506	1,583	1,679

Fonte: O Autor

Tabela 24 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 40\text{MPa})$ aproximação cúbica

Alfa	Fck = 40 Mpa (Cúbica)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,044	1,046	1,049	1,054	1,054	1,056	1,061
0,41	1,047	1,049	1,052	1,058	1,059	1,062	1,067
0,42	1,050	1,052	1,055	1,062	1,064	1,067	1,074
0,43	1,052	1,055	1,059	1,066	1,068	1,073	1,080
0,44	1,055	1,058	1,062	1,070	1,073	1,078	1,086
0,45	1,058	1,061	1,065	1,074	1,077	1,083	1,092
0,46	1,061	1,064	1,068	1,078	1,082	1,088	1,098
0,47	1,064	1,067	1,072	1,082	1,086	1,093	1,103
0,48	1,067	1,070	1,075	1,086	1,090	1,098	1,109
0,49	1,070	1,073	1,078	1,090	1,094	1,103	1,115
0,50	1,073	1,076	1,081	1,094	1,099	1,108	1,120

0,51	1,075	1,079	1,085	1,098	1,103	1,112	1,125
0,52	1,078	1,083	1,088	1,102	1,107	1,117	1,131
0,53	1,082	1,086	1,091	1,106	1,112	1,122	1,136
0,54	1,085	1,089	1,095	1,110	1,116	1,127	1,141
0,55	1,088	1,093	1,098	1,114	1,120	1,132	1,147
0,56	1,091	1,096	1,102	1,118	1,125	1,137	1,152
0,57	1,094	1,100	1,105	1,122	1,129	1,142	1,158
0,58	1,098	1,103	1,109	1,126	1,134	1,147	1,163
0,59	1,101	1,107	1,113	1,130	1,138	1,152	1,169
0,60	1,104	1,110	1,116	1,135	1,143	1,157	1,174
0,61	1,108	1,114	1,120	1,139	1,148	1,163	1,180
0,62	1,111	1,118	1,124	1,144	1,153	1,168	1,186
0,63	1,115	1,122	1,128	1,148	1,158	1,174	1,192
0,64	1,119	1,126	1,132	1,153	1,163	1,180	1,198
0,65	1,123	1,130	1,137	1,158	1,168	1,186	1,205
0,66	1,127	1,135	1,141	1,163	1,173	1,192	1,211
0,67	1,131	1,139	1,146	1,168	1,179	1,198	1,218
0,68	1,135	1,143	1,150	1,173	1,185	1,205	1,225
0,69	1,139	1,148	1,155	1,179	1,190	1,211	1,233
0,70	1,143	1,153	1,160	1,184	1,197	1,218	1,240
0,71	1,148	1,157	1,165	1,190	1,203	1,225	1,248
0,72	1,152	1,162	1,170	1,196	1,209	1,233	1,256
0,73	1,157	1,167	1,176	1,202	1,216	1,240	1,265
0,74	1,162	1,173	1,181	1,208	1,223	1,248	1,274
0,75	1,167	1,178	1,187	1,215	1,230	1,257	1,283
0,76	1,172	1,183	1,193	1,221	1,237	1,265	1,293
0,77	1,177	1,189	1,199	1,228	1,245	1,274	1,303
0,78	1,182	1,195	1,205	1,235	1,253	1,283	1,313
0,79	1,187	1,201	1,211	1,242	1,261	1,293	1,324
0,80	1,193	1,207	1,218	1,250	1,269	1,302	1,335
0,81	1,199	1,213	1,225	1,258	1,278	1,312	1,347
0,82	1,205	1,220	1,232	1,266	1,287	1,323	1,359
0,83	1,211	1,226	1,239	1,274	1,296	1,334	1,372
0,84	1,217	1,233	1,246	1,282	1,306	1,345	1,385
0,85	1,223	1,240	1,254	1,291	1,316	1,357	1,399
0,86	1,230	1,247	1,262	1,300	1,326	1,369	1,413
0,87	1,236	1,255	1,270	1,309	1,336	1,382	1,428
0,88	1,243	1,262	1,278	1,319	1,347	1,395	1,443
0,89	1,250	1,270	1,287	1,329	1,359	1,408	1,460
0,90	1,257	1,278	1,296	1,339	1,370	1,422	1,476
0,91	1,265	1,286	1,305	1,350	1,382	1,437	1,493

0,92	1,272	1,295	1,314	1,361	1,395	1,451	1,511
0,93	1,280	1,303	1,324	1,372	1,408	1,467	1,530
0,94	1,288	1,312	1,334	1,383	1,421	1,483	1,549
0,95	1,296	1,321	1,344	1,395	1,435	1,499	1,569
0,96	1,305	1,330	1,355	1,407	1,449	1,516	1,590
0,97	1,313	1,340	1,366	1,420	1,464	1,534	1,611
0,98	1,322	1,350	1,377	1,433	1,479	1,552	1,633
0,99	1,331	1,360	1,388	1,446	1,494	1,571	1,656

Fonte: O Autor

Tabela 25 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 45\text{MPa})$ aproximação quadrática

Alfa	Fck = 45MPa (Quadrática)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,051	1,060	1,059	1,065	1,075	1,084	1,094
0,41	1,052	1,061	1,060	1,067	1,076	1,085	1,094
0,42	1,054	1,063	1,062	1,068	1,078	1,087	1,095
0,43	1,055	1,064	1,064	1,070	1,079	1,088	1,097
0,44	1,057	1,066	1,065	1,072	1,081	1,090	1,098
0,45	1,059	1,068	1,067	1,074	1,084	1,093	1,100
0,46	1,061	1,070	1,070	1,076	1,086	1,095	1,103
0,47	1,063	1,072	1,072	1,079	1,089	1,098	1,105
0,48	1,065	1,075	1,075	1,082	1,091	1,101	1,108
0,49	1,068	1,077	1,077	1,084	1,094	1,104	1,111
0,50	1,070	1,080	1,080	1,088	1,098	1,108	1,115
0,51	1,073	1,083	1,083	1,091	1,101	1,111	1,119
0,52	1,075	1,086	1,086	1,094	1,105	1,115	1,123
0,53	1,078	1,089	1,089	1,098	1,108	1,119	1,128
0,54	1,081	1,092	1,093	1,101	1,112	1,124	1,132
0,55	1,084	1,095	1,096	1,105	1,117	1,129	1,137
0,56	1,087	1,099	1,100	1,109	1,121	1,134	1,143
0,57	1,090	1,102	1,104	1,113	1,126	1,139	1,149
0,58	1,094	1,106	1,108	1,118	1,130	1,144	1,155
0,59	1,097	1,110	1,112	1,122	1,136	1,150	1,161
0,60	1,101	1,114	1,117	1,127	1,141	1,156	1,168
0,61	1,105	1,118	1,121	1,132	1,146	1,162	1,175
0,62	1,108	1,122	1,126	1,137	1,152	1,169	1,182
0,63	1,112	1,126	1,131	1,143	1,158	1,175	1,189
0,64	1,116	1,131	1,136	1,148	1,164	1,182	1,197
0,65	1,121	1,135	1,141	1,154	1,170	1,190	1,206
0,66	1,125	1,140	1,146	1,159	1,177	1,197	1,214

0,67	1,129	1,145	1,152	1,165	1,183	1,205	1,223
0,68	1,134	1,150	1,157	1,171	1,190	1,213	1,232
0,69	1,138	1,155	1,163	1,178	1,197	1,221	1,242
0,70	1,143	1,160	1,169	1,184	1,205	1,230	1,251
0,71	1,148	1,166	1,175	1,191	1,212	1,238	1,261
0,72	1,153	1,171	1,182	1,198	1,220	1,247	1,272
0,73	1,158	1,177	1,188	1,205	1,228	1,256	1,283
0,74	1,163	1,183	1,195	1,212	1,236	1,266	1,294
0,75	1,169	1,189	1,201	1,219	1,244	1,276	1,305
0,76	1,174	1,195	1,208	1,227	1,253	1,286	1,317
0,77	1,180	1,201	1,215	1,235	1,262	1,296	1,329
0,78	1,185	1,207	1,222	1,243	1,271	1,306	1,341
0,79	1,191	1,214	1,230	1,251	1,280	1,317	1,353
0,80	1,197	1,220	1,237	1,259	1,289	1,328	1,366
0,81	1,203	1,227	1,245	1,267	1,299	1,339	1,380
0,82	1,209	1,234	1,253	1,276	1,309	1,351	1,393
0,83	1,216	1,241	1,261	1,285	1,319	1,362	1,407
0,84	1,222	1,248	1,269	1,293	1,329	1,374	1,421
0,85	1,229	1,255	1,277	1,303	1,339	1,387	1,436
0,86	1,235	1,263	1,285	1,312	1,350	1,399	1,450
0,87	1,242	1,270	1,294	1,321	1,361	1,412	1,465
0,88	1,249	1,278	1,303	1,331	1,372	1,425	1,481
0,89	1,256	1,286	1,312	1,341	1,383	1,438	1,497
0,90	1,263	1,294	1,321	1,351	1,394	1,452	1,513
0,91	1,270	1,302	1,330	1,361	1,406	1,465	1,529
0,92	1,277	1,310	1,339	1,371	1,418	1,479	1,546
0,93	1,285	1,318	1,349	1,382	1,430	1,493	1,563
0,94	1,292	1,327	1,359	1,392	1,442	1,508	1,580
0,95	1,300	1,335	1,368	1,403	1,455	1,523	1,597
0,96	1,308	1,344	1,378	1,414	1,467	1,538	1,615
0,97	1,316	1,353	1,389	1,425	1,480	1,553	1,634
0,98	1,324	1,362	1,399	1,437	1,493	1,568	1,652
0,99	1,332	1,371	1,409	1,448	1,507	1,584	1,671

Fonte: O Autor

Tabela 26 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 45\text{MPa})$ aproximação cúbica

Alfa	Fck = 45MPa (Cúbica)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,050	1,050	1,050	1,056	1,061	1,065	1,077
0,41	1,053	1,053	1,053	1,059	1,065	1,070	1,082

0,42	1,055	1,056	1,056	1,063	1,068	1,074	1,088
0,43	1,058	1,059	1,060	1,066	1,072	1,078	1,093
0,44	1,061	1,062	1,063	1,070	1,076	1,083	1,098
0,45	1,063	1,065	1,066	1,073	1,080	1,087	1,103
0,46	1,066	1,068	1,069	1,077	1,084	1,091	1,108
0,47	1,069	1,071	1,072	1,080	1,088	1,096	1,113
0,48	1,072	1,074	1,076	1,084	1,092	1,100	1,118
0,49	1,075	1,077	1,079	1,088	1,096	1,104	1,123
0,50	1,078	1,080	1,083	1,091	1,100	1,109	1,128
0,51	1,080	1,083	1,086	1,095	1,104	1,113	1,133
0,52	1,083	1,086	1,089	1,099	1,108	1,118	1,138
0,53	1,086	1,090	1,093	1,103	1,112	1,122	1,143
0,54	1,089	1,093	1,097	1,106	1,117	1,127	1,148
0,55	1,093	1,096	1,100	1,110	1,121	1,132	1,153
0,56	1,096	1,100	1,104	1,114	1,125	1,136	1,159
0,57	1,099	1,103	1,108	1,118	1,130	1,141	1,164
0,58	1,102	1,107	1,112	1,123	1,135	1,146	1,170
0,59	1,106	1,111	1,116	1,127	1,139	1,152	1,176
0,60	1,109	1,114	1,120	1,131	1,144	1,157	1,182
0,61	1,113	1,118	1,124	1,136	1,149	1,162	1,188
0,62	1,116	1,122	1,128	1,140	1,154	1,168	1,194
0,63	1,120	1,126	1,133	1,145	1,159	1,174	1,201
0,64	1,124	1,130	1,137	1,150	1,165	1,180	1,207
0,65	1,128	1,135	1,142	1,155	1,170	1,186	1,214
0,66	1,132	1,139	1,146	1,160	1,176	1,192	1,221
0,67	1,136	1,143	1,151	1,165	1,182	1,198	1,229
0,68	1,140	1,148	1,156	1,171	1,188	1,205	1,236
0,69	1,144	1,153	1,161	1,176	1,194	1,212	1,244
0,70	1,149	1,157	1,167	1,182	1,201	1,219	1,253
0,71	1,153	1,162	1,172	1,188	1,207	1,227	1,261
0,72	1,158	1,167	1,178	1,194	1,214	1,234	1,270
0,73	1,163	1,173	1,184	1,200	1,221	1,242	1,279
0,74	1,167	1,178	1,190	1,207	1,228	1,250	1,289
0,75	1,173	1,183	1,196	1,214	1,236	1,259	1,299
0,76	1,178	1,189	1,202	1,220	1,244	1,268	1,309
0,77	1,183	1,195	1,208	1,227	1,252	1,277	1,320
0,78	1,188	1,201	1,215	1,235	1,260	1,286	1,331
0,79	1,194	1,207	1,222	1,242	1,268	1,296	1,342
0,80	1,200	1,213	1,229	1,250	1,277	1,306	1,354
0,81	1,205	1,220	1,236	1,258	1,286	1,316	1,366
0,82	1,211	1,226	1,244	1,266	1,295	1,327	1,379

0,83	1,218	1,233	1,251	1,274	1,305	1,338	1,392
0,84	1,224	1,240	1,259	1,283	1,315	1,349	1,406
0,85	1,230	1,247	1,267	1,292	1,325	1,361	1,420
0,86	1,237	1,255	1,276	1,301	1,336	1,373	1,435
0,87	1,244	1,262	1,284	1,311	1,347	1,386	1,450
0,88	1,251	1,270	1,293	1,320	1,358	1,399	1,466
0,89	1,258	1,278	1,302	1,330	1,369	1,412	1,482
0,90	1,266	1,286	1,312	1,340	1,381	1,426	1,499
0,91	1,273	1,294	1,321	1,351	1,393	1,440	1,516
0,92	1,281	1,303	1,331	1,362	1,406	1,455	1,534
0,93	1,289	1,312	1,341	1,373	1,419	1,470	1,553
0,94	1,297	1,321	1,352	1,384	1,432	1,486	1,572
0,95	1,305	1,330	1,362	1,396	1,446	1,502	1,591
0,96	1,314	1,340	1,373	1,408	1,460	1,519	1,612
0,97	1,322	1,349	1,384	1,421	1,474	1,536	1,633
0,98	1,331	1,359	1,396	1,433	1,489	1,553	1,655
0,99	1,341	1,370	1,408	1,447	1,504	1,571	1,677

Fonte: O Autor

Tabela 27 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 50\text{MPa})$ aproximação quadrática

Alfa	Fck = 50MPa (Quadrática)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,051	1,052	1,056	1,060	1,065	1,079	1,085
0,41	1,053	1,054	1,057	1,062	1,066	1,080	1,087
0,42	1,055	1,056	1,059	1,064	1,068	1,082	1,088
0,43	1,056	1,058	1,061	1,066	1,070	1,084	1,090
0,44	1,058	1,060	1,064	1,068	1,073	1,086	1,093
0,45	1,060	1,062	1,066	1,071	1,075	1,089	1,095
0,46	1,063	1,064	1,068	1,073	1,078	1,092	1,098
0,47	1,065	1,067	1,071	1,076	1,080	1,095	1,101
0,48	1,067	1,069	1,074	1,079	1,083	1,098	1,105
0,49	1,070	1,072	1,077	1,082	1,087	1,101	1,108
0,50	1,073	1,075	1,080	1,085	1,090	1,105	1,113
0,51	1,075	1,078	1,083	1,088	1,094	1,109	1,117
0,52	1,078	1,081	1,087	1,092	1,097	1,113	1,121
0,53	1,081	1,084	1,090	1,096	1,101	1,117	1,126
0,54	1,084	1,088	1,094	1,100	1,106	1,122	1,132
0,55	1,087	1,091	1,098	1,104	1,110	1,127	1,137
0,56	1,091	1,095	1,102	1,108	1,115	1,132	1,143
0,57	1,094	1,098	1,106	1,112	1,119	1,137	1,149

0,58	1,098	1,102	1,110	1,117	1,124	1,143	1,156
0,59	1,101	1,106	1,115	1,122	1,129	1,149	1,162
0,60	1,105	1,110	1,120	1,126	1,135	1,155	1,169
0,61	1,109	1,115	1,124	1,131	1,140	1,161	1,176
0,62	1,113	1,119	1,129	1,137	1,146	1,168	1,184
0,63	1,117	1,124	1,134	1,142	1,152	1,174	1,192
0,64	1,121	1,128	1,140	1,148	1,158	1,181	1,200
0,65	1,126	1,133	1,145	1,153	1,165	1,189	1,209
0,66	1,130	1,138	1,151	1,159	1,171	1,196	1,217
0,67	1,135	1,143	1,156	1,165	1,178	1,204	1,226
0,68	1,140	1,148	1,162	1,172	1,185	1,212	1,236
0,69	1,144	1,153	1,168	1,178	1,192	1,220	1,245
0,70	1,149	1,159	1,174	1,185	1,199	1,228	1,255
0,71	1,154	1,164	1,181	1,191	1,207	1,237	1,266
0,72	1,159	1,170	1,187	1,198	1,214	1,246	1,276
0,73	1,165	1,176	1,194	1,205	1,222	1,255	1,287
0,74	1,170	1,181	1,201	1,213	1,230	1,264	1,298
0,75	1,176	1,188	1,208	1,220	1,239	1,274	1,309
0,76	1,181	1,194	1,215	1,228	1,247	1,284	1,321
0,77	1,187	1,200	1,222	1,235	1,256	1,294	1,333
0,78	1,193	1,206	1,229	1,243	1,265	1,304	1,345
0,79	1,199	1,213	1,237	1,251	1,274	1,314	1,358
0,80	1,205	1,220	1,244	1,260	1,283	1,325	1,371
0,81	1,211	1,226	1,252	1,268	1,293	1,336	1,384
0,82	1,217	1,233	1,260	1,277	1,302	1,347	1,397
0,83	1,224	1,240	1,268	1,285	1,312	1,359	1,411
0,84	1,230	1,248	1,277	1,294	1,322	1,371	1,425
0,85	1,237	1,255	1,285	1,303	1,333	1,383	1,440
0,86	1,244	1,262	1,294	1,313	1,343	1,395	1,454
0,87	1,250	1,270	1,302	1,322	1,354	1,407	1,469
0,88	1,257	1,278	1,311	1,332	1,365	1,420	1,484
0,89	1,264	1,285	1,320	1,341	1,376	1,433	1,500
0,90	1,272	1,293	1,330	1,351	1,387	1,446	1,516
0,91	1,279	1,301	1,339	1,362	1,398	1,459	1,532
0,92	1,286	1,310	1,348	1,372	1,410	1,473	1,548
0,93	1,294	1,318	1,358	1,382	1,422	1,487	1,565
0,94	1,302	1,327	1,368	1,393	1,434	1,501	1,582
0,95	1,309	1,335	1,378	1,404	1,446	1,515	1,599
0,96	1,317	1,344	1,388	1,415	1,458	1,529	1,617
0,97	1,325	1,353	1,398	1,426	1,471	1,544	1,635
0,98	1,333	1,362	1,409	1,437	1,484	1,559	1,653

0,99	1,342	1,371	1,419	1,448	1,497	1,575	1,671
------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Fonte: O Autor

Tabela 28 - $\gamma_z = \gamma_z(\alpha; \text{Freq}; F_{ck} = 50\text{MPa})$ aproximação cúbica

Alfa	Fck = 50MPa (Cúbica)						
	Freq						
	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
0,40	1,051	1,054	1,054	1,056	1,064	1,070	1,071
0,41	1,054	1,057	1,057	1,060	1,068	1,074	1,076
0,42	1,057	1,060	1,061	1,063	1,072	1,078	1,081
0,43	1,059	1,062	1,064	1,067	1,076	1,082	1,086
0,44	1,062	1,065	1,067	1,070	1,079	1,087	1,090
0,45	1,065	1,068	1,070	1,073	1,083	1,091	1,095
0,46	1,067	1,071	1,073	1,077	1,087	1,095	1,100
0,47	1,070	1,074	1,076	1,080	1,091	1,099	1,104
0,48	1,073	1,077	1,080	1,084	1,095	1,104	1,109
0,49	1,076	1,080	1,083	1,088	1,099	1,108	1,114
0,50	1,079	1,083	1,086	1,091	1,103	1,113	1,119
0,51	1,082	1,086	1,090	1,095	1,107	1,117	1,124
0,52	1,085	1,089	1,093	1,099	1,111	1,122	1,129
0,53	1,088	1,092	1,097	1,103	1,115	1,126	1,134
0,54	1,091	1,095	1,100	1,106	1,119	1,131	1,139
0,55	1,094	1,098	1,104	1,110	1,123	1,136	1,144
0,56	1,097	1,102	1,108	1,115	1,128	1,141	1,150
0,57	1,101	1,105	1,112	1,119	1,132	1,146	1,155
0,58	1,104	1,108	1,115	1,123	1,137	1,151	1,161
0,59	1,107	1,112	1,119	1,127	1,142	1,156	1,167
0,60	1,111	1,116	1,124	1,132	1,147	1,162	1,173
0,61	1,115	1,119	1,128	1,137	1,152	1,167	1,179
0,62	1,118	1,123	1,132	1,141	1,157	1,173	1,185
0,63	1,122	1,127	1,137	1,146	1,162	1,179	1,192
0,64	1,126	1,131	1,141	1,151	1,168	1,185	1,199
0,65	1,130	1,135	1,146	1,156	1,174	1,192	1,206
0,66	1,134	1,140	1,151	1,162	1,179	1,198	1,213
0,67	1,138	1,144	1,156	1,167	1,185	1,205	1,221
0,68	1,143	1,149	1,161	1,173	1,192	1,212	1,229
0,69	1,147	1,153	1,166	1,178	1,198	1,220	1,237
0,70	1,152	1,158	1,172	1,184	1,205	1,227	1,246
0,71	1,156	1,163	1,177	1,190	1,211	1,235	1,254
0,72	1,161	1,168	1,183	1,197	1,218	1,243	1,264
0,73	1,166	1,173	1,189	1,203	1,225	1,251	1,273

0,74	1,171	1,178	1,195	1,210	1,233	1,260	1,283
0,75	1,176	1,184	1,201	1,217	1,241	1,268	1,293
0,76	1,182	1,189	1,208	1,224	1,249	1,278	1,304
0,77	1,187	1,195	1,214	1,231	1,257	1,287	1,314
0,78	1,193	1,201	1,221	1,239	1,265	1,297	1,326
0,79	1,199	1,207	1,228	1,246	1,274	1,307	1,337
0,80	1,204	1,213	1,235	1,254	1,283	1,317	1,350
0,81	1,211	1,220	1,243	1,262	1,292	1,328	1,362
0,82	1,217	1,226	1,250	1,271	1,302	1,339	1,375
0,83	1,223	1,233	1,258	1,280	1,311	1,351	1,389
0,84	1,230	1,240	1,266	1,288	1,322	1,362	1,403
0,85	1,236	1,247	1,275	1,298	1,332	1,375	1,417
0,86	1,243	1,255	1,283	1,307	1,343	1,387	1,432
0,87	1,250	1,262	1,292	1,317	1,354	1,400	1,447
0,88	1,258	1,270	1,301	1,327	1,365	1,414	1,463
0,89	1,265	1,278	1,310	1,337	1,377	1,428	1,480
0,90	1,273	1,286	1,320	1,348	1,389	1,442	1,497
0,91	1,281	1,294	1,329	1,358	1,401	1,457	1,515
0,92	1,289	1,303	1,339	1,370	1,414	1,472	1,533
0,93	1,297	1,312	1,350	1,381	1,427	1,487	1,551
0,94	1,305	1,321	1,360	1,393	1,441	1,503	1,571
0,95	1,314	1,330	1,371	1,405	1,455	1,520	1,591
0,96	1,323	1,340	1,382	1,417	1,469	1,537	1,611
0,97	1,332	1,349	1,394	1,430	1,484	1,554	1,633
0,98	1,341	1,359	1,406	1,443	1,499	1,572	1,654
0,99	1,350	1,370	1,418	1,456	1,514	1,591	1,677

Fonte: O Autor

7 APLICAÇÕES

Neste item serão apresentadas duas aplicações da utilização das tabelas apresentadas neste TCC. Para a primeira delas adota-se o edifício Spazio Uno, representado na Figura 15, que foi analisado por Carmo (1995, p.41). Na outra, será usado o projeto arquitetônico extraído de Cruz, Ferreira e Lucena (2019), utilizado na disciplina Análise Estrutural II do curso de Engenharia Civil do CT da UFPB, cujo cálculo do parâmetro Alfa e do coeficiente Gama-Z, foi realizado por Araújo, Ferreira Júnior e Reis Lago (2019).

O objetivo central destas aplicações consiste na oportunidade de validar a utilização das equações e tabelas aqui desenvolvidas e apresentadas, enquanto o objetivo secundário é a demonstração da facilidade e da rapidez na avaliação do coeficiente Gama-Z a partir do parâmetro Alfa e do F_{Req} seja no estudo de SEC composto por estruturas (pórticos) planas ou por uma estrutura espacial.

7.1 Aplicação 1

Os elementos para o cálculo do parâmetro Alfa segundo a direção X, utilizados por Carmo (1995):

- Número de pavimentos: 17
- Força vertical no andar i $F_{v,k,i} = 2308,0kN$
- Força vertical total $F_{v,k,totol} = 2308,0 \times 17 = 39236,0kNkN$
- Módulo de elasticidade inicial $E_{ci} = 30000000kN/m^2$
- Módulo de elasticidade secante $E_{cs} = 27000000kN/m^2$
- Altura do edifício $H=48,97m$
- Deslocamento no topo $a_x(\text{topo}) = 0,43337m$
- Rigidez equivalente do edifício $EI_{eq,x} = 165.745.217,89KNm^2$

$$\alpha_x = H \sqrt{\frac{F_{v,k,totol}}{EI_{eq}}} = 48,97 \sqrt{\frac{39.236,0}{165.745.217,89}} = 0,75$$

O parâmetro Alfa recalculado de acordo com as normas atuais para um concreto com $F_{ck} = 35MPa$. Considerou-se indispensável este calculo devido ao fato de que o F_{ck} do concreto utilizado por Carmo (1995) ser menor que o limite mínimo ($F_{ck} = 20MPa$, item 8.2.1) recomendado para concretos estruturais na ABNT NBR 6118:2014. O valor 35MPa foi adotado por ser maior que o limite mínimo na norma supra citada.

$$E_{ci} = 33.130.000kN/m^2$$

$$E_{cs} = 29.486.000kN/m^2$$

$$a_x(\text{topo}) = 0,3971m$$

$$EI_{eq,x} = 178.082.246,80kN/m^2$$

$$\alpha_x = H \sqrt{\frac{F_{v,k,total}}{EI_{eq}}} = 48,97 \sqrt{\frac{39.236,0}{178.082.246,80}} = 0,72$$

Os elementos para o cálculo do coeficiente Gama-Z da direção X, utilizados por Carmo (1995 p.55-56)

$$\gamma_{fvert} = 1,0$$

$$\gamma_{fhoriz} = 1,4$$

$$\sum \gamma_{fvert} F_{vert,k,i} x_i / 0,7$$

$$F_R = 0,7$$

$$\sum \gamma_{f,horiz} F_{h,k,i} z_i$$

$$\sum x_{ki} = 0,6123$$

$$\sum F_{h,k,i} z_i = 16.223,1$$

$$\gamma_{z,x} = \frac{1}{1 - \frac{\sum F_{vdi} x_{id}}{\sum F_{hdi} z_i}} = \frac{1}{1 - \frac{F_{vki} \sum x_{ki}}{0,7(\sum F_{h,k,i} z_i)}} = \frac{1}{1 - \frac{\sum 1,0 F_{vk,i} 1,4 x_{ki} / 0,7}{\sum 1,4 F_{h,k,i} z_i}} = 1,14$$

Para a determinação do coeficiente Gama-Z a partir do seu valor obtido com o $F_R=0,70$ ou através das tabelas apresentadas neste TCC se faz necessária à determinação do F_{Req} .

- Determinação do F_{Req} .

Das tabelas 10 e 11 de Carmo (1995, p.71,72), aqui parcialmente apresentadas como Tabela 29 e 30, são extraídos os valores dos deslocamentos no topo do edifício Spazio Uno quando submetido à ação do vento. O conhecimento dos valores destes deslocamentos permitirá o calculo desejado.

Na coluna intitulada análise de 1ª ordem, da Tabela 29, tem-se o valor do deslocamento no topo na direção X para a estrutura (pórtico espacial) com 100% da rigidez flexional, $a_{x,1,00} = 0,1203m$, e da Tabela 30, obtém-se os valores dos deslocamentos, todos no topo, para a estrutura com 70% da rigidez flexional,

$a_{x,0,70} = 1,1513 \times 0,1203 = 0,1385m$, e para a estrutura com a rigidez flexional dos pilares reduzida para 80% e para 40% no caso das vigas com armadura de tração diferente da armadura de compressão, $a_{x,0,80;0,40} = 1,2074 \times 0,1203 = 0,1452m$.

Tabela 29 - Deslocamentos no topo do edifício (EI integral)

Efeitos		Análise de 1a. Ordem
Flecha no Topo(a)-m	X	0,1203
	Y	0,0624

Fonte: Adaptada de Carmo (1995, p. 71)

Tabela 30 - Deslocamentos no topo do edifício (EI reduzido)

Efeitos	Direção X			Direção Y		
	I	II	III	I	II	III
Flecha no Topo (a)%	15,13	20,74	17,52	6,11	7,93	6,88

Fonte: Adaptada de Carmo (1995, p. 72)

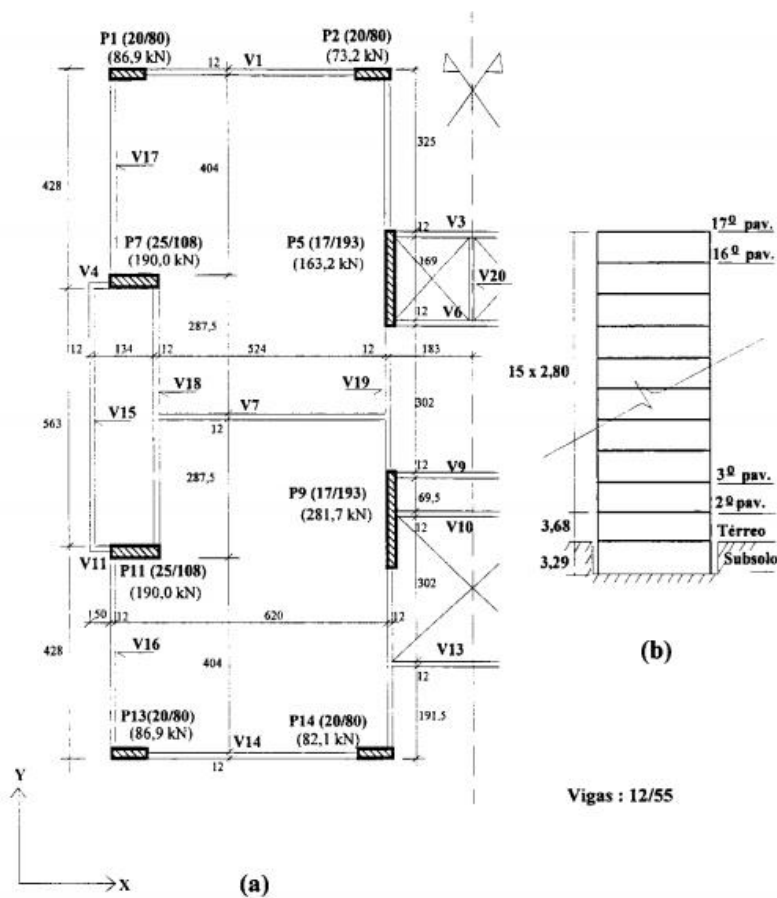
Com os valores dos deslocamentos acima indicados, calcula-se o $F_{Req,x}$, obtendo-se:

$$F_{Req} = \frac{a_{x,1,00}}{a_{x,0,80;0,40}} = \frac{0,1203}{0,1452} = 0,828$$

O coeficiente Gama-Z da direção X recalculado de acordo com as normas atuais para um concreto com $F_{ck} = 35MPa$.

$$\begin{aligned} \gamma_{z,x(fck=35MPa)} &= \frac{1}{1 - \frac{\sum (1,0F_{vk,i} 1,4x_{ki} / 0,7) 1,4x0,7x30000000 / 33130000x0,8285}{\sum 1,4F_{h,k,i}y_i}} = \\ &= \frac{1}{1 - \frac{1,14 - 1}{1,14} (1,4x0,7x30000000 / 33130000x0,8285)} = 1,15 \end{aligned}$$

Figura 15 - Planta de forma do pavimento tipo do edifício Spazio Uno.



Fonte: Carmo (1995, p. 41)

Com as Tabelas 21 e 22 (para $F_{ck} = 35\text{MPa}$) e destas, com as colunas correspondente a $F_{Req} = 0,80$ obtém-se, para $\alpha_x = 0,72$, os valores 1,144 (com correlação quadrática) e 1,142 (com correlação cúbica) para o Gama-Zx.

7.2 Aplicação 2

Considerando o SEC_y indicado na Figura 16 e o projeto arquitetônico mostrado na Figura 17, faz-se uma estimativa do parâmetro Alfa:

Estimativa do carregamento vertical:

$$F_{vk} \cong B_x \cdot B_y \cdot p_m (n - \chi) + \beta V_{res} \cdot \gamma_{\text{água}}$$

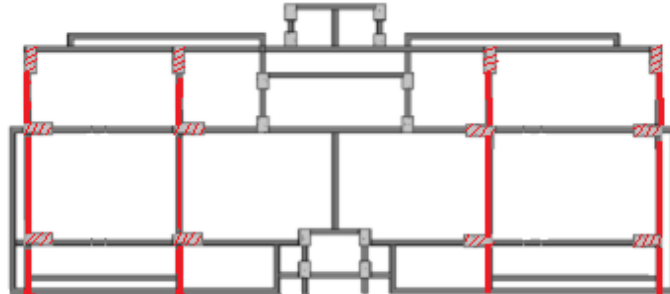
$$B_x \cdot B_y = 24,00 \times 11,60 = 278,40 \text{m}^2$$

$$p_m = 12 + 0,5sc = 12,00 + 1,50 \times 0,5 = 12,75 \text{kN/m}^2$$

$$\beta V_{res} \gamma_{\text{água}} = 2,0 \times 48,5 \times 10 = 970,00 \text{kN}$$

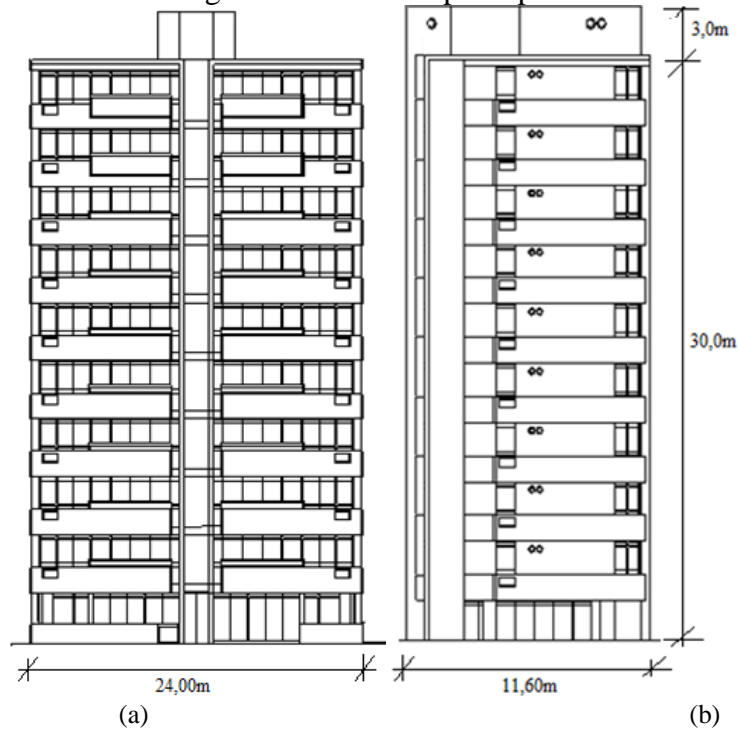
$$\chi = 0,80$$

Figura 16 - Forma do pavimento tipo e definição do SEC da direção Y



Fonte: adaptado de Araújo, Ferreira Júnior e Reis Lago (2019)

Figura 17 - Fachada principal e lateral



Fonte: Cruz, Ferreira e Lucena (2020, p. 181)

$$F_{vk} \cong 278,40 \times 12,75(10 + 0,8) + 970,00$$

$$F_{vk} \cong 39.305,68 \text{ kN}$$

Estimativa do parâmetro de instabilidade Alfa na direção Y:

$$\alpha_y = H \sqrt{\frac{F_{vk}}{E_{cs} I_{SEC_y}}} = H \sqrt{\frac{F_{vk}}{EI_y}}$$

$$H = 31,00m$$

$$f_{ck} = 35MPa$$

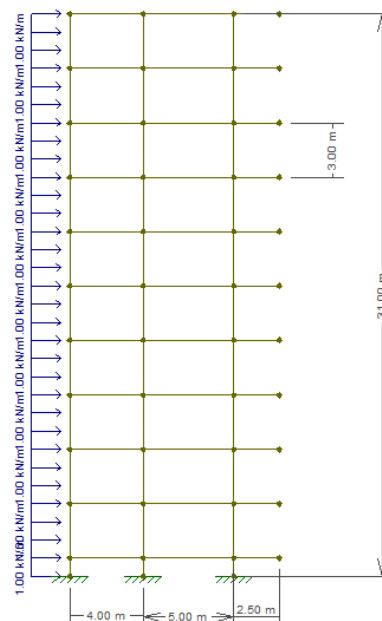
$$\alpha_E = 1,0$$

$$\alpha_i = 0,80 + 0,20\left(\frac{f_{ck}}{80}\right) = 0,887 \leq 1,0$$

$$E_{cs} = 0,887 \times 5600 \sqrt{35} = 29386,35MPa = 29.386.35kN/m^2$$

$$a_{cd} = 3,774 \times 10^{-3}m$$

Figura 18 - Pórtico do SECy.



Fonte: adaptado de Araújo, Ferreira Júnior e Reis Lago (2019)

$$I_{pórtico} = \frac{pH^4}{8E_{cs}a_{cd}} = \frac{1,0 \times 31,00^4}{8 \times 29386,35 \times 1000 \times 0,003776} = 1,04m^4$$

$$I_{SEC_y} = 4 \times I_{pórtico} = 4 \times 1,04m^4 = 4,16m^4$$

$$\alpha_y = 31,00 \sqrt{\frac{39305,68}{29386351 \times 4,16}} = 0,556 \cong 0,56$$

Avaliação do γ_z utilizando-se as tabelas apresentados neste TCC, em função do valor do F_{ck} e do valor do fator, F_{Req} , de redução equivalente para a consideração da NLF.

A avaliação do Gama-Z é feita a partir das Tabelas 21 e 22 utilizável nas análises de estruturas cujo concreto é do tipo C 35. Para a definição da coluna das tabelas 21 e 22 a ser utilizada se faz necessária a determinação do F_{Req} do SEC.

O cálculo do F_{Req} e o coeficiente γ_{zy} , para direção Y, Na Tabela 31, tem-se os valores dos deslocamentos no topo na direção Y para SEC com 100% da rigidez flexional, $a_{y,1,00}$, os valores dos deslocamentos, todos no topo, para a estrutura com 70% da rigidez flexional, $a_{x,0,70}$ e, e para a estrutura com a rigidez flexional dos pilares reduzida para 80% e para 40% no caso das vigas com armadura de tração diferente da armadura de compressão, $a_{x,0,80;0,40}$.

Tabela 31 - Deslocamentos no topo do pórtico da Figura 18

Efeitos	$F_{Req} = 1,0$ ($a_{y,1,00}$)	$F_{Req} = 0,70$ ($a_{y,0,70}$)	$F_{Req} = 0,80; 0,40$ ($a_{y,0,80;0,40}$)
Flecha	0,00335m	0,00478m	0,00621

Fonte: adaptado de Araújo, Ferreira Júnior e Reis Lago (2019)

$$F_{Req} = \frac{a_{y,1,00}}{a_{y,0,80;0,40}} = \frac{0,00335}{0,00621} = 0,539 = 0,54 \cong 0,55$$

Assim, utilizando-se as Tabelas 21 e 22 e destas a oitava coluna (correspondente a $F_{Req} = 0,55$) obtém-se, para $\alpha_y = 0,56$, respectivamente, os valores 1,124 (com correlação quadrática) e 1,142 (com correlação cubica) para o Gama-Zy.

Avaliação do γ_z a partir do carregamento devido ao vento e do carregamento vertical estimado utilizado na avaliação do α .

Parâmetros para o cálculo do efeito do vento paralelo à direção Y

$B_x=24,00m$,

$B_y=11,60m$,

$$H=30,00\text{m}$$

$$V_0=35\text{m/s}$$

$$S_1=1$$

$$S_3=1$$

Categoria: Quatro

Classe: B

$$b = 0,85,$$

$$p=0,125,$$

$$Fr = 0,9$$

$$S_2 = b Fr (Z / 10)^P$$

$$C_{ay}=1,33$$

$$f_{ay,i}=C_{ay}q_iB_{xi}$$

$$F_{ay,i}=0,5.(f_{ay,i}h_i+f_{ay,i-1}h_{i-1})$$

Tabela 32 - Efeito do vento na direção y (vento incidente na fachada maior)

Pav.	Z(m)	Z*(m)	S ₂	V _k (m/s)	q(N/m ²)	f _{ay} (kN/m)	F _{ay} (kN)
Primeiro	0	1,5	0,66	23,10	327,10	10,44	15,66
Segundo	3	4,5	0,75	26,25	430,48	13,74	36,27
Terceiro	6	7,5	0,80	28,00	480,59	15,34	43,62
Quarto	9	10,5	0,84	29,40	529,85	16,92	48,39
Quinto	12	13,5	0,86	30,10	555,38	17,73	51,97
Sexto	15	16,5	0,89	31,15	594,81	18,99	55,08
Sétimo	18	19,5	0,91	31,85	621,84	19,85	58,26
Oitavo	21	22,5	0,92	32,20	635,58	20,29	60,19
Nono	24	25,5	0,94	32,90	663,52	21,18	62,20
Decimo	27	28,5	0,95	33,25	677,71	21,31	63,73
Cobertura	30						31,96

Fonte: adaptado de Araújo, Ferreira Júnior e Reis Lago (2019)

O carregamento vertical devido ao reservatório elevado e às casas de maquinas foi aplicado no nível da laje da coberta. Desse modo, um quarto do valor 970 kN foi adicionado ao valor correspondente a 0,80 da carga vertical de cada pavimento.

Cálculo do $M_{1,tot,d,y}$

Tabela 33 - Elementos para o cálculo do $M_{1,tot,d,y}$

Pavimento	F _{ay,i} (kN)	H _i (m)	M _{1,tot,d,y} (kNm)
-----------	------------------------	--------------------	------------------------------

Cobertura	31,96	31	832,24
Decimo	63,73	28	1.498,93
Nono	62,20	25	1.306,20
Oitavo	60,19	22	1.112,31
Sétimo	58,26	19	929,83
Sexto	55,08	16	740,27
Quinto	51,97	13	567,51
Quarto	48,39	10	406,48
Terceiro	43,62	7	256,48
Segundo	36,27	4	121,87
Primeiro	15,66	1	13,15
Total			7.782,27x1/4=194 5,57

Fonte: adaptado de Araújo, Ferreira Júnior e Reis Lago (2019)

Cálculo do $AM_{1,tot,d,y}$

Tabela 34 - Elementos para o cálculo do $\Delta M_{1,tot,d,y}$

Pavimento	$F_{vk,i}$ (kN)	a(cm)	$\Delta M_{1,tot,d,y}$ (kNm)
Cobertura	952,42	3,05	28,95
Decimo	887,40	2,93	26,00
Nono	887,40	2,77	24,58
Oitavo	887,40	2,55	22,63
Sétimo	887,40	2,28	20,23
Sexto	887,40	1,94	17,21
Quinto	887,40	1,55	13,75
Quarto	887,40	1,12	9,94
Terceiro	887,40	0,68	6,03
Segundo	887,40	0,28	2,48
Primeiro	887,40	0,02	0,18
Total	9.826,42	---	161,98x1,4x0,84=190,49

Fonte: adaptado de Araújo, Ferreira Júnior e Reis Lago (2019)

Para o cálculo dos deslocamentos horizontais devido à ação do vento utilizou-se a CB 5.2 = $1,4F_{vk} + 0,6 \times 1,4 F_{ay}$, de análise de estado limite último (ELU) extraída de Cruz, Ferreira e Lucena (2019, p. 152) em que o vento é variável secundária.

$$\gamma_{zy} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{1,tot,d,y}}{M_{1,tot,d,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{190,49}{1945,57}} = 1,108 \equiv 1,11$$

8 CONCLUSÃO

Este TCC começa com uma breve revisão das possibilidades de instabilidade das estruturas. Entretanto o interesse maior é voltado para o estudo da estabilidade global. São destacadas algumas contribuições de relevantes trabalhos de autores tomados como referência. Um dos trabalhos mais recentes do qual foram extraídas significativas ideias é o de Maracajá (2020). Destaca-se, também, o trabalho mais antigo (Carmo (1995)) que representou considerável pontapé inicial na investigação das correlações entre o coeficiente Gama-Z e o parâmetro Alfa, de Maracajá (2020) foram utilizadas as equações necessárias para a obtenção de valores corrigidos (atualizados) dos pares ALFA-GAMA-Z, que contribuíram de forma decisiva para a construção das tabelas aqui apresentadas.

Trabalhando na direção do objetivo principal, o autor organizou quatorze tabelas para a obtenção do coeficiente Gama-Z em função do F_{ck} do concreto e do F_{Req} (que simula a redução da rigidez flexional da estrutura), destas, a metade foi calculada considerando correlação quadrática e a outra metade para a correlação cúbica. Existem duas tabelas para cada valor do F_{ck} (para $F_{ck} = 20, 25, 30, 35, 40, 45$ e 50MPa) que reúnem valores para cada valor dos sete valores do F_{Req} (para $F_{Req} = 0,80, 0,75, 0,70, 0,65, 0,60, 0,55$ e $0,50$). Nelas, o valor do parâmetro Alfa varia de 0,40 até 0,99.

De modo geral cada tabela esta dividida em quatro regiões que são identificadas por cores: a primeira de cor azul claro identifica os valores para os quais a correlação não tem validade, a segunda, de cor verde, cujos valores dos parâmetros de verificação de instabilidade global (na verdade, indicadores da deslocabilidade ou indeslocabilidade horizontal dos SEC) indicam a possibilidade de análise linear; a terceira, de cor amarela cujos valores indicam a possibilidade de aplicação da ANL simplificada (Ver item 15.7.2 da ABNT NBR 6118:2014), e a última, vermelha, cujos valores indicam a necessidade de análise considerando a não-linearidade física e geométrica através de cálculo rigoroso com o uso, por exemplo, do processo P-delta comum em programas de análise não-linear geométrica rigorosa, de grande complexidade.

Aplicações da utilização das tabelas foram realizadas. Para a Aplicação 1, utilizou-se da representação esquemática do Edifício Spazio Uno de Carmo (1995, p. 41) Esta aplicação envolveu, portanto a análise de um pórtico espacial. Para a Aplicação

2, considerou-se o edifício antes analisado por Araújo, Ferreira Júnior e Reis Lago (2019) como parte dos estudos realizados na disciplina Análise Estrutural II, do Curso de Engenharia Civil (do CT., da UFPB, período letivo PS2019), esquematicamente representado nas Figuras 16 e 17.

Para a primeira aplicação considerou-se o SEC da direção X. No seu desenvolvimento foram calculados:

a) Parâmetro Alfa ($\alpha = 0,75$) com os critérios e valores utilizados por Carmo (1995) e também com os critérios e valores definidos na ABNT NBT 6118:2014, ($\alpha = 0,72$) considerando o valor 35MPa para a resistência do concreto;

b) Com relação ao coeficiente Gama-Z. O resultado obtido por Carmo (1995) ($\gamma_z = 1,14$) foi atualizado para $F_{ck}=35$ MPa de acordo com as recomendações da ABNT NBR 6118:2014 e como resultado obteve-se $\alpha = 0,72$ e $\gamma_z = 1,15$ pelas tabelas de correlação cúbica e quadrática respectivamente deste TCC foram obtidos $\gamma_z = 1,144$ e $\gamma_z = 1,142$.

Na Aplicação 2, que envolve o SECy (composto por quatro pórticos planos) foi estimado o Parâmetro Alfa ($\alpha = 0,56$) e o $F_{Req} = 0,55$. Com estes valores e com o valor do $F_{ck} = 35$ MPa, dois valores do coeficiente Gama-Z foram obtidos através das Tabelas 21 (correlação quadrática) e 22 (correlação cubica), são eles: Sendo $\gamma_z = 1,124$ e $\gamma_z = 1,142$.

Comparando os valores do γ_{zy} obtidos via tabelas, $\gamma_z = 1,124$ e $\gamma_z = 1,142$, e via expressão da NBR 6118:2014, $\gamma_{zy} \equiv 1,11$, observa-se que o erro relativo cometido respectivamente é de 1,26 % e 2,88%, ambos a favor da segurança.

O autor reconhece que muitas outras aplicações dever ser realizadas para que se possa aceitar e aplicar as tabelas com segurança. Como as aplicações apresentadas envolveram sistemas de contraventamento compostos por pórticos planos e por um pórtico espacial espera-se que as tabelas apresentadas sejam aplicáveis também aos sistemas de contraventamento obtidos pelo pórtico espacial da edificação (sem a consideração das lajes). Portanto, os resultados aqui obtidos necessitam de maiores comprovações.

9 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estrutura de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

_____.**NBR 6118: Projeto de Estrutura de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

_____.**NBR 6118: Projeto de Estrutura de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_____.**NBR 6123: Forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

ARAÚJO, L. M.; COSTA JÚNIOR, L. F. da; REIS LAGO, L. P. dos, **MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO DE VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL DE UM EDIFÍCIO**. Trabalho da disciplina Analise Estrutural II.(Curso de Engenharia Civil), PS2019,32p.João Pessoa, 2020;

BUENO, M. M. E. **AVALIÇÃO DOS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. 2009. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CAMPOÓ, L. B., CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. **EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL**. In: Revista Minerva: Pesquisa e Tecnologia, v.2, n.2. 2005.

CARMO, R. M. S, **EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO**. 112 pág. Dissertação Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1995.

CHINEM, R. M. **AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2010.

CRUZ, J. M. F.; FERREIRA, E.T.; LUCENA, C. A. T. **ESTRUTURAS: a estabilidade global dos edifícios altos**. João Pessoa, Leia Livros, 2019.

FRANCO, M.; VASCONCELOS, A. C. **PRACTICAL ASSESSMENT OF SECOND ORDER EFFECTS IN TALL BUILDINGS**. In: COLOQUIUM ON THE CEB-FIP MC90, 1991, Rio de Janeiro. Anais. 1991.

FREITAS, F. C.; LUCHI, L. A. R.; FERREIRA, W. G. **ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL DAS ESTRUTURAS E AÇÕES DE CONTROLE DOS SEUS EFEITOS**. In: Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, Recife, Vol. 9. Nº 2, 2016.

GUERRA, M. *et al.* **INFLUÊNCIA DAS PAREDES DE VEDAÇÃO NA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO.** In: Revista CIATEC – UPF, Passo Fundo, Vol.10, N° 2, 2018.

MARACAJÁ, A L.; **SOBRE OS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL E AS RELAÇÕES ENTRE O ALFA E O GAMA-Z.** 78 pág. TCC Engenharia Civil – UFPB, João Pessoa. 2020.

MONCAYO, W. J. Z. **ANALISE DE SEGUNDA ORDEM GLOBAL EM EDIFÍCIOS COM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

NETO, I. C. A. **CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO COM REDUÇÃO BRUSCA DE RIGIDEZ ENTRE PAVIMENTOS.** 2013. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.