

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

WILSTON GOMES DA SILVA

**ESTUDO PARAMÉTRICO DO DIMENSIONAMENTO DE
PILARES DE CONCRETO ARMADO PELOS MÉTODOS DO
PILAR PADRÃO COM CURVATURA APROXIMADA E
PILAR PADRÃO COM RIGIDEZ “ κ ” APROXIMADA**

ANÁPOLIS / GO

2020

WILSTON GOMES DA SILVA

**ESTUDO PARAMÉTRICO DO DIMENSIONAMENTO DE
PILARES DE CONCRETO ARMADO PELOS MÉTODOS DO
PILAR PADRÃO COM CURVATURA APROXIMADA E
PILAR PADRÃO COM RIGIDEZ “ κ ” APROXIMADA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: GLEDISTON NEPOMUCENO C. JUNIOR

ANÁPOLIS / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, WILSTON GOMES DA

Dimensionamento De Pilares De Concreto Armado Pelos Métodos Do Pilar Padrão Com Curvatura Aproximada E Pilar Padrão Com Rigidez “K” Aproximada.

44P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Pilares

3. Concreto

I. ENC/UNI

2. Rigidez

4. Curvatura Aproximada

II. Bacharel

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Wilston Gomes. Estudo paramétrico do dimensionamento de pilares de concreto armado pelos métodos do pilar padrão com curvatura aproximada e pilar padrão com rigidez “k” aproximada. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Wilston Gomes da Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo paramétrico do dimensionamento de pilares de concreto armado pelos métodos do pilar padrão com curvatura aproximada e pilar padrão com rigidez “k” aproximada.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Wilston Gomes da Silva E-mail:

wilstonpimenta@hotmail.com

WILSTON GOMES DA SILVA

**ESTUDO PARAMÉTRICO DO DIMENSIONAMENTO DE
PILARES DE CONCRETO ARMADO PELOS MÉTODOS DO
PILAR PADRÃO COM CURVATURA APROXIMADA E
PILAR PADRÃO COM RIGIDEZ “K” APROXIMADA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**GLEDISTON NEPOMUCENO C. JUNIOR, Mestre (UNB)
(ORIENTADOR)**

**FILIPE F. GARCIA, Especialista (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 01 de DEZEMBRO de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde concebida na realização de todo o trabalho e força para não desistir, permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos em minha vida universitária, mas que em todos os momentos na qual foi o maior mestre.

Agradeço a minha mãe Francisca Maria Gomes da Silva, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Agradeço aos amigos, Eng. Matheus Oliveira, por ter se disponibilizado e oferecido seu tempo e conhecimento no desenvolvimento do trabalho e Amanda Lemes pelo auxílio no decorrer do estudo e companheirismo em todas as horas, principalmente nos meus momentos de fraqueza, irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Wilston Gomes da Silva

RESUMO

No total as estruturas aceitas em concreto armado usam os pilares para a transição de esforços, ainda que tais esforços sejam enfim designados aos elementos de fundação. Tendo como exemplo alguns tipos de pilares tais como: Circular, Retangular e em L. No processo de dimensionamento dos pilares medianamente esbeltos é fundamental que haja a consideração dos efeitos de segunda ordem, que amplificam as solicitações impostas a tal elemento. Um estudo paramétrico que permita a avaliação de variáveis (f_{ck} , dimensões, eixo de flexão e etc.) e seus efeitos sobre os valores finais de esforços de segunda ordem é de extrema importância, pois permitirá a definição de quais variáveis são determinantes em ambos os métodos de definição dos efeitos de segunda ordem. O estudo avalia como se procedem os efeitos de segunda ordem aplicados em pilares mistos medianamente esbeltos, compreendendo como referencial avaliações paramétricas por meio de dois métodos divergentes de designação dos efeitos de segunda ordem, considerando a importância da resistência a compressão do concreto sobre os efeitos de segunda ordem, usando o modo do pilar padrão com rigidez “ κ ” aproximada e o método do pilar padrão com curvatura aproximada. Por processo dos resultados fragmentários adquiridos foi considerado que o crescimento do resistor à compressão do concreto, organizou uma abreviação exponencial de armadura, o índice de armadura pelo esquema do pilar-padrão com rigidez “ κ ” aproximada foi inferior ao da ferramenta do pilar-padrão com curvatura aproximada, os efeitos de segunda ordem determinados pelo método do pilar-padrão com rigidez “ κ ” aproximada foram subalternos aos alcançados pelo procedimento do pilar-padrão com curvatura aproximada.

PALAVRAS-CHAVE:

Pilares. Concreto armado. Segunda ordem. Esbeltez.

ABSTRACT

In total the structures accepted in reinforced concrete use the pillars for the transition of efforts, even though such efforts are finally assigned to the foundation elements. Taking as an example some types of pillars such as: Circular, Rectangular and L-shaped. In the process of dimensioning the pillars that are moderately slender, it is essential to consider the second order effects, which amplify the demands imposed on such an element. A parametric study that allows the evaluation of variables (f_{ck} , dimensions, flexion axis and etc.) and their effects on the final values of second order efforts is extremely important, as it will allow the definition of which variables are determinants in both methods definition of second-order effects. The study assesses how the second order effects applied to mixed pillars are medium slim, comprising as parametric parametric evaluations by means of two divergent methods of designating the second order effects, considering the importance of the compressive strength of concrete over the effects of second order, using the standard abutment method with approximate “ κ ” stiffness and the standard abutment method with approximate curvature. Through the process of acquired fragmentary results it was considered that the growth of the concrete compression resistor, organized an exponential reinforcement abbreviation, the reinforcement index according to the standard column scheme with approximate “ κ ” stiffness was lower than the standard column tool with approximate curvature, the second order effects determined by the standard column method with approximate “ κ ” stiffness were subordinate to those achieved by the standard column procedure with approximate curvature.

KEYWORDS:

Pillars. Reinforced concrete. Second order. Slimnes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de pilares em concreto.	9
Figura 2 - Uso de pilares no Templo Partenon.	10
Figura 3 - Uso de pilares no Templo Stoneheng.	10
Figura 4 - Pilar no Templo Portuno.	11
Figura 5 - Ponte Rio-Niterói.	11
Figura 6 - Etapas da pesquisa.	14
Figura 7 - Ferramenta iColumn.	15
Figura 8 - Curvas Momento versus Força Normal para $\lambda = 90$	16
Figura 9 - Curva de ajuste da carga última em função do índice de esbeltez.	17
Figura 10 - Exemplo de aplicação (momento mínimo).	18
Figura 11 - Momento fletor adimensionais vs. esforço normal adimensional.	19
Figura 12 - Comparação dos resultados globais para os pilares.	20
Figura 13 - Diferença entre momento crítico de primeira ordem.	21
Figura 14 - Comparação entre momentos fletores de 1º e 2º ordem.	22
Figura 15 - Solução mais econômica.	23
Figura 16 - Método do Pilar-Padrão com Curvatura Aproximada.	24
Figura 17 - Método do Pilar-Padrão com Rigidez k Aproximada.	24
Figura 18 - Arranjo considerado.	27
Figura 19 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}	27
Figura 20 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}	28
Figura 21 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}	28
Figura 22 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}	29
Figura 23 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}	29
Figura 24 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}	30
Figura 25 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}	30
Figura 26 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}	31
Figura 27 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}	31

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Dados da análise paramétrica	26
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 HISTÓRICO	9
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo geral	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 METODOLOGIA	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3 RESULTADOS	26
3.1 PILARES DE COMPRIMENTO EQUIVALENTE DE 600 CM	27
3.2 PILARES DE COMPRIMENTO EQUIVALENTE DE 450 CM	29
3.3 PILARES DE COMPRIMENTO EQUIVALENTE DE 300 CM	30
4 CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

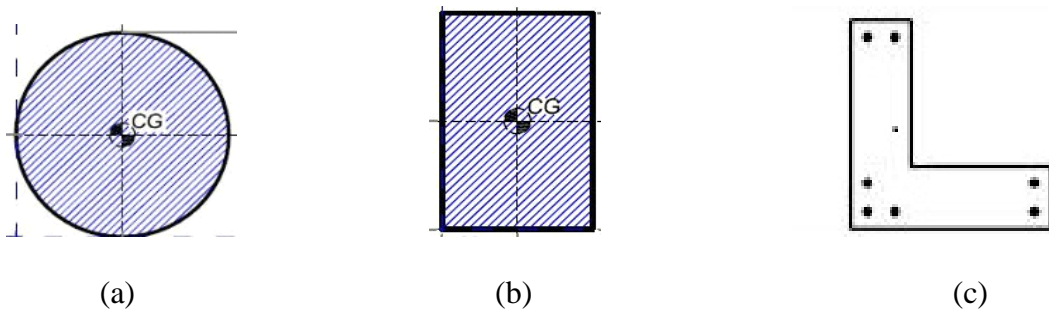
Em geral as estruturas convencionais em concreto armado utilizam os pilares para a transferência de esforços, até que tais esforços sejam finalmente destinados aos elementos de fundação. A sua importância na distribuição dos esforços e na estabilidade global da estrutura, requer que tal elemento estrutural seja dimensionado de forma correta e segura.

De acordo com Kimura “por definição, pilar é um elemento linear (uma dimensão preponderante perante as demais) disposto na vertical e predominantemente comprimido”. (KIMURA, 2014, p.6).

Kimura (2014) destaca que um pilar apresenta funções como a resistência a esforços verticais e transmissão dos mesmos até os elementos de fundação, resistência as solicitações oriundas de esforços horizontais e a contribuição do mesmo para a estabilidade global de uma estrutura.

Tal panorama a seguir apresentado advém de algumas seções referente aos tipos de pilares. Alguns dos formatos aplicados em obras são: circular (Figura 1-1a), retangular (Figura 1-1b) e em L (Figura 1-1c), conforme a Figura 1.

Figura 1 - Tipos de pilares em concreto.



Fonte: ENGIOBRA, 2020.

1.1 HISTÓRICO

O uso dos pilares datam de épocas bem antigas. Tem-se como exemplo na Grécia Antiga em que o uso dos pilares já era feito. Por exemplo, o templo grego de Partenon que foi concebido com o uso pilares compostos de mármore. Tendo em vista os pilares da antiguidade, pode-se observar que mesmo sem tecnologia de ponta, já se alcançavam incríveis resultados, não somente em arquitetura, mais principalmente na resistividade. Na Figura 2 é apresentado a referida construção em que é possível visualizar a implementação desse elemento estrutural.

Figura 2 - Uso de pilares no Templo Partenon.



Fonte: INFOESCOLA, 2020.

Pode-se destacar também o Templo Stonehenge, evidentemente advindo de uma construção misteriosa, na qual a pedra é matéria prima de seus pilares. Assim mostrada na Figura 3.

Figura 3 - Uso de pilares no Templo Stoneheng.



Fonte: BBC, 2020.

Toma-se de exemplo também o Templo de Portuno, que fica localizado na Roma. O Templo continua sendo enfatizado e memorável até nos dias atuais, devido sua admirável conservação e resistência dos seus materiais, a qual se destacam os pilares construídos em tufo (rochas de baixa densidade), travertino (rocha calcária), e recobertos em estuque (argamassa gerada de gesso, água e cal). Tal construção apresentada na Figura 4.

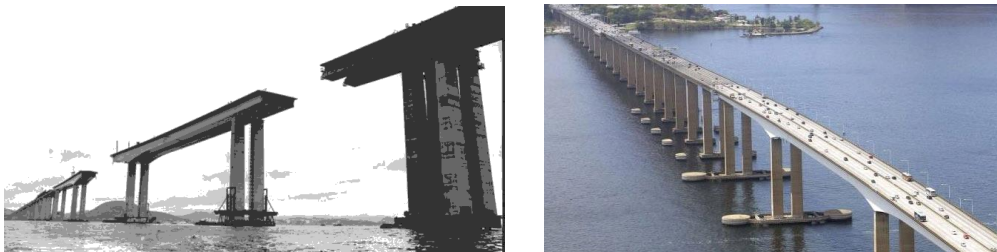
Figura 4 - Pilar no Templo Portuno



Fonte: PINTEREST, 2020.

Datado em 23 de agosto de 1968, a assinatura do decreto, foi autorizado o projeto da construção da ponte, pelo presidente Costa e Silva, possibilitando uma das mais belas e grandiosa obra construída nos tempos atuais. A então chamada Ponte Rio-Niterói, localizada na baía de Guanabara no Rio de Janeiro. Essa tendo como sua base os pilares retangulares construído em concreto armado, na qual pode-se tirar como exemplo a enorme importância que essas estruturas têm nas construções, e na engenharia mundial. Ilustra-se a seguir a Figura 5 de tal construção.

Figura 5 - Ponte Rio-Niterói.



Fonte: DIARIODORIO, 2020.

O uso de pilares de concreto armado é bem difundido devido à diversas vantagens, das quais destacam-se:

- Grande durabilidade;
- Resistividade a vibrações, fogo e choque;
- Elevado grau de disponibilidade de mão de obra;
- Alta facilidade na execução estrutural no local das obras, além de ter um processo construtivo bem distribuído no Brasil.

Porém os pilares de concreto armado apresentam algumas desvantagens:

- O elevado peso dos elementos estruturais, devido o concreto armado não ter resistência aos esforços de tração;
- Pode-se apresentar fissurações nas regiões de tração;
- Dificuldade em fazer mudanças nas estruturas após o endurecimento;
- Por muitas vezes o processo ser manual é possível aparecer patologias nas suas estruturas.

Por serem elementos de fundamental importância em relação ao desempenho estrutural de uma estrutura, é importante que o dimensionamento de tal elemento seja feito de forma correta. Os pilares de concreto armado a medida em que se tornam mais esbeltos, os efeitos de segunda ordem são mais significativos, sendo de fundamental importância uma boa definição das consequências desses efeitos sobre o comportamento e dimensionamento estrutural de um pilar misto de concreto armado.

Este presente trabalho pretende avaliar dois métodos distintos para determinação dos efeitos de segunda ordem em pilares de concreto armado medianamente esbeltos. Diante o exposto será possível um melhor entendimento das vantagens e desvantagens de tais métodos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Pinheiro (2007) afirma que a deficiência do concreto quanto ao suporte de esforços de tração pode ser tratada com uso de armadura composta de barras de aços, o que se denomina concreto armado. A utilização de tal armadura também garante um aumento da ductilidade do concreto e o aumento de sua resistência a compressão.

Conhecido que o concreto é um material que resiste bem aos esforços normais de compressão e que um pilar recebe preponderantemente esforços normais de compressão, entende-se que um pilar de concreto armado trabalha de forma muito eficiente, por conta das características resistivas dos materiais que o constitui.

No processo de dimensionamento dos pilares medianamente esbeltos é fundamental que haja a consideração dos efeitos de segunda ordem, que amplificam as solicitações impostas a tal elemento. Em pilares medianamente esbeltos de seção retangular os esforços de segunda ordem podem ser determinados com a utilização do método do pilar padrão com rigidez “ κ ” aproximada e pelo método do pilar padrão com curvatura aproximada.

Porém o dimensionamento por ambos os métodos resulta em valores que diferem entre si, sendo um dos métodos ora antieconômico, ora econômico em relação ao outro. Um estudo paramétrico que permita a avaliação de variáveis (f_{ck} , comprimento efetivo e esforço normal) e seus efeitos sobre os valores finais de esforços de segunda ordem é de extrema importância, pois permitirá a definição de quais variáveis são determinantes em ambos os métodos de definição dos efeitos de segunda ordem.

Logo, este trabalho justifica-se pela contribuição que será dada ao atual estado de conhecimento sobre a temática. Permitindo definir qual método para definição dos esforços de segunda ordem é mais vantajoso para certa situação de dimensionamento. A definição do método mais eficiente de dimensionamento permite a utilização de uma taxa menor de aço na seção transversal, possibilitando ao projetista um menor consumo de aço e, portanto, gerando vantagens econômicas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

A pesquisa teve como objetivo geral avaliar como se comportam os efeitos de segunda ordem em pilares medianamente esbeltos, tendo como referencial análises paramétricas entre dois métodos distintos de definição dos efeitos de segunda ordem.

1.3.2 Objetivos específicos

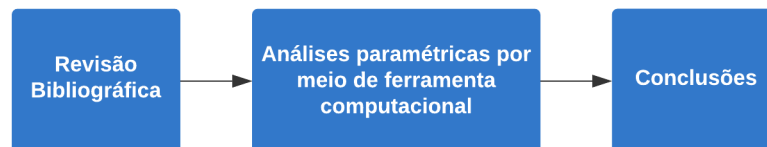
Os objetivos específicos propostos para essa pesquisa são:

- Analisar a influência da resistência a compressão do concreto sobre os efeitos de segunda ordem, utilizando o método do pilar padrão com rigidez “ κ ” aproximada e o método do pilar padrão com curvatura aproximada;
- Analisar a influência da altura do pilar na direção de flexão sobre os efeitos de segunda ordem, utilizando o método do pilar padrão com rigidez “ κ ” aproximada e o método do pilar padrão com curvatura aproximada;
- Analisar a influência do comprimento equivalente do pilar sobre os efeitos de segunda ordem, utilizando o método do pilar padrão com rigidez “ κ ” aproximada e o método do pilar padrão com curvatura aproximada.

1.4 METODOLOGIA

Os objetivos da pesquisa serão alcançados mediante a execução das etapas apresentadas na Figura 6.

Figura 6 - Etapas da pesquisa.

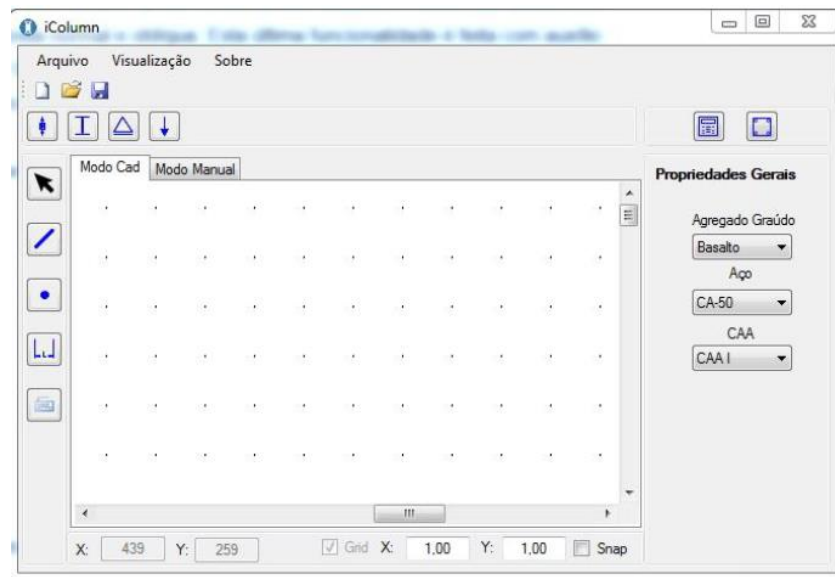


Fonte: AUTOR, 2020.

1. Revisão bibliográfica: coleta e análise de documentos sobre estudos relativos a esforços de segunda ordem em pilares de concreto armado. As informações dessa etapa permitirão uma boa compreensão sobre a temática, o que facilitará o desenvolvimento das análises paramétricas.

2. Análises paramétricas: avaliação da influência dos seguintes parâmetros na taxa mecânica de armadura em pilares de concreto armado: comprimento efetivo, resistência à compressão do concreto e esforço axial solicitante. Por meio dessas análises será possível concluir qual método de determinação de esforços de segunda ordem é o mais eficiente.

A ferramenta computacional utilizada para o estudo paramétrico foi o *software iColumn*, desenvolvido por Fernandes (2018). Tal ferramenta, embora simples, dimensiona pilares intermediários utilizando os métodos do Pilar-Padrão com Curvatura Aproximada e Pilar-Padrão com Rigidez “ κ ” Aproximada. A Figura 1-7 apresenta a tela inicial da ferramenta computacional utilizada no estudo paramétrico.

Figura 7 - Ferramenta iColumn.

Fonte: FERNANDES, 2018.

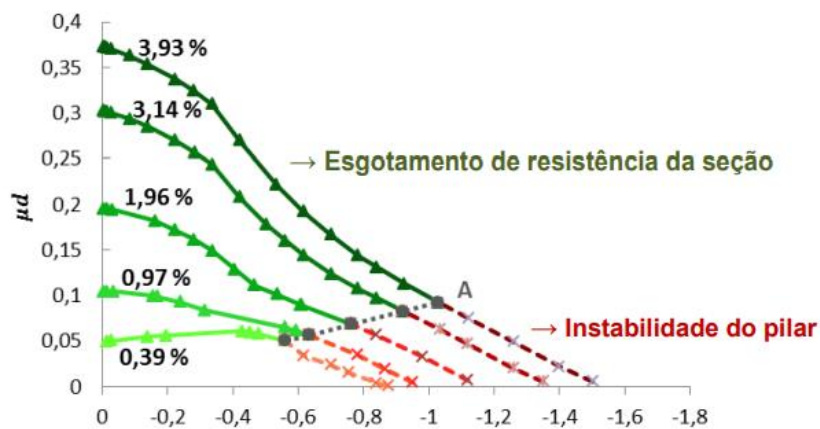
Para o estudo paramétrico foram utilizados 36 pilares intermediários com variação de comprimento equivalente, resistência à compressão do concreto e esforço axial solicitante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Gonçalves (2017) através de um estudo numérico em elementos finitos, analisou os efeitos de segunda ordem em pilares de concreto armado submetidos a flexo-compressão reta. O autor analisou vários pilares de seção constante, onde foi variado o índice de esbeltez e taxa de armadura.

A Figura 8 apresenta o incremento de resistência devido ao aumento da taxa de armadura.

Figura 8 - Curvas Momento versus Força Normal para $\lambda = 90$.



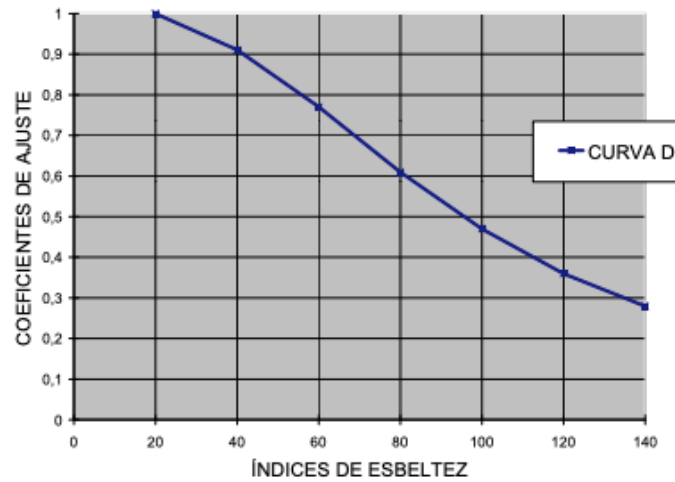
Fonte: GONÇALVES, 2017.

Através dos resultados numéricos, o autor observou que o aumento da esbeltez dos pilares, tornou os efeitos de segunda ordem mais significativos. Sendo o aumento da esbeltez de um pilar de concreto armado, um parâmetro que deve ser definido em projeto com bastante cautela, pois o aumento deste parâmetro torna o pilar mais instável.

Borges (1999) analisou pilares de concreto armado submetidos à flexo-compressão oblíqua através do software (Sistema Flexor). Esta ferramenta foi desenvolvida por CADAMURO (1997), a qual busca o equilíbrio de tais estruturas quando submetidas a solicitações normais, propondo soluções seguras e viáveis economicamente. Assim como citado anteriormente, foi analisado a taxa de armadura, índice de esbeltez e a resistência a compressão do concreto.

A Figura 9 apresenta o resultado da curva de ajuste em relação ao índice de esbeltez.

Figura 9 - Curva de ajuste da carga última em função do índice de esbeltez



Fonte: BORGES, 1999.

Casagrande e Silva (2011), apresentam em seu estudo, análises de procedimentos advindo de resultados de momentos totais e de área de aço e a comparação de valores entre ambos. A determinação dos esforços de segunda ordem foi feita com utilização do método do pilar padrão com rigidez “k” e o método do pilar-padrão com curvatura aproximada. Por meio dos resultados obtidos, os autores observaram que o método do pilar padrão com rigidez “k” aproximada apresentou resultados mais econômicos.

Scadelai (2004) analisou o dimensionamento de pilares e validação de processos aproximados. Foi criado um conteúdo de Prática Recomendada mais cristalino aos profissionais, começando assim com cálculos do comprimento do pilar isolado da estrutura e índice de esbeltez, desprezando os efeitos de 2º ordem, comparando também vários métodos de efeitos locais de 2º ordem entre eles.

Pinto (2017) apresenta em seu estudo métodos para o dimensionamento de pilares retangulares com uso de envoltórias em momentos de flexão oblíqua, com uso de cálculos diretos ou com ábacos. O autor também analisou como as não-linearidades influenciavam no estado limite da instabilidade e como são considerados nos processos de dimensionamento.

A Figura 10 mostra os resultados da exemplificação da aplicação presentes em tal tabela.

Figura 10 - Exemplo de aplicação (momento mínimo).

Imperfeições geométricas locais: momento mínimo	$M_{d,tot,x}$ (kN.m)	$M_{d,tot,y}$ (kN.m)	Armadura escolhida	Seção Crítica	Verificação
Método do pilar-padrão com curvatura aproximada	74,12	36,09	Doze barras de 20 mm	Intermediária	0,907
Método do pilar-padrão com rigidez "kapa" aproximada	69,61	36,09	Doze barras de 20 mm	Intermediária	0,849
Método do pilar-padrão acoplado a diagramas momento fletor – força normal – curvatura	53,90	36,09	Oito barras de 20 mm	Intermediária	0,935
Método Geral	35,79	37,53	Oito barras de 20 mm	3	0,634

Fonte: PINTO, 2017.

Foi observado pelo autor que os métodos do pilar-padrão com curvatura aproximada e pilar-padrão com rigidez “k” aproximada apresentaram resultados semelhantes.

Kemczinsk (2015) apresenta em seu estudo, processos de cálculos de elementos de concreto armado, com métodos manuais, utilizando a ferramenta *AltoQiEberick*, também com pré-dimensionamentos, vinculações, detalhamento e uma comparação entre os elementos calculados.

Foi observado pelo autor que durante a realização dos cálculos é necessário a utilização da ferramenta computacional com cautela e uma ótima concepção da estrutura. Desse modo um bom dimensionamento de uma edificação de concreto armado necessita deve ser feita por um profissional competente.

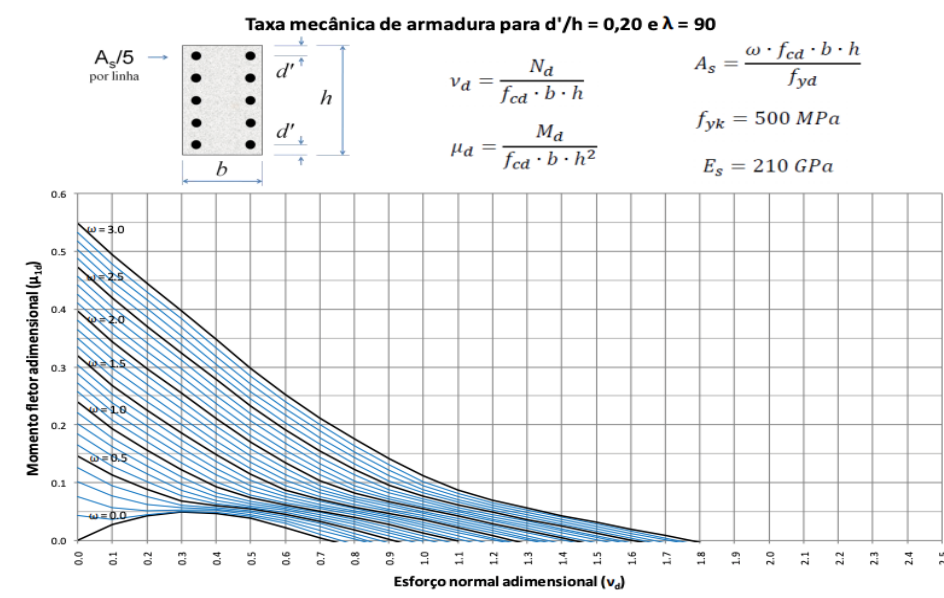
Venturine e Rodrigues (1987) apresentam em seu trabalho, análises sobre o dimensionamento de elementos de concreto armado submetidos à flexão reta, com resultados dos dimensionamentos para a comparação das flexões reta, composta e oblíqua, na qual a resistividade das tenções não são nulas.

Foi observado pelos autores que a utilização de equações de equilíbrio por meio do uso de ábacos são ferramentas para um bom dimensionamento de pilares de concreto armado.

Ribeiro (2011) em seu estudo descreve a análise de pilares de seção transversal retangular com um índice de esbeltez limitado a 90. Os autores analisaram ainda a constância dos pilares, os quais são associados em diferentes graus de esbeltez.

A Figura 11 apresenta a comparação de dois diagramas para verificação de pilares retangulares em concreto armado submetidos à flexão composta normal.

Figura 11 - Momento fletor adimensionais vs. esforço normal adimensional.



Fonte: RIBEIRO, 2011.

Foi observado por meio dos resultados que ambos as tabelas e os diagramas, resultaram em um dimensionamento mais econômico e acessível em relação ao processo de cálculo do pilar-padrão de rigidez kappa aproximada. Evidenciando-se a diferença entres os métodos.

Cadamuro Jr (1997) em seu estudo e engloba de forma geral as análises sobre o dimensionamento de pilares esbeltos de concreto armado em flexão composta oblíqua. Esse não levando em consideração a Lei de Hooke e geométrica em 2º ordem, é analisado também os de seções isoladas no Estado Limite Último de ruptura. Também foi levado em consideração o efeito fluência.

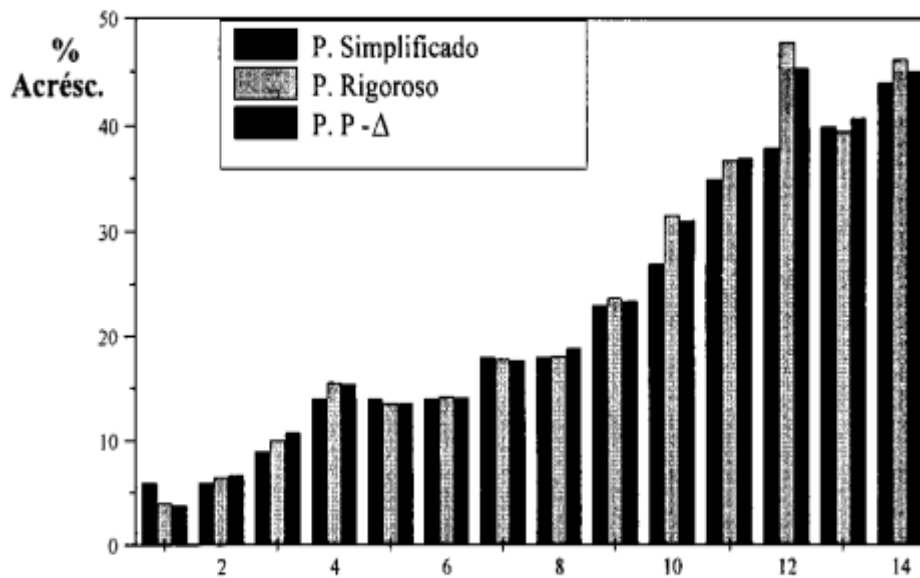
Desse modo, observado pelo autor pode-se concluir que os métodos e informações utilizados nesse estudo, tem grande importância na serventia da área de concreto armado, também pode-se observar que os processos mencionados funcionam em qualquer situação de carregamento e seção transversal de concreto armado.

Amaral (2000) em seu estudo apresenta prosseguimento de pilares esbeltos de concreto armado dominado a uma flexão normal composta, em distribuição de 1º ordem e cargas de

longa duração, com finalidade de se apresentar mecanismos para medição de peças esbeltas, para que se possa avaliar a estabilidade de uma barra de aço. Foi observado pelo autor, que o método do pilar padrão com curvatura aproximada apresentou bons resultados, procedendo de dimensionamentos seguros e análises mais eficazes, com processos de dimensionamento de colunas esbeltas em flexão composta, utilizando a teoria do método geral e o processo de pilar padrão.

Carmo (1995) avaliou em seu estudo os parâmetros de análise da estabilidade de deformações e global em estruturas de concreto armado. A Figura 12 apresenta a comparação do Diagrama para resultados globais de pilares em concreto armado.

Figura 12 - Comparação dos resultados globais para os pilares.



Fonte: CARMO, 1995.

Foi observado pelo autor que os métodos de análise em 2º ordem é satisfatório dentro dos limites, a qual foi visava principalmente a simplificar os procedimentos, podendo se considerar as análises de NFL e com a não-linearidade são objeto de estudo de vários estudos para a finalidade de simplificação.

Paula (1988) analisou a estabilidade de equilíbrio de pilares esbeltos de concreto armado, sujeito a flexão composta, utilizando o método geral e o processo de pilar padrão com curvatura aproximada para a comparação e dimensionamento dos pilares esbeltos e criação de diagramas de tais estruturas no momento fletor, com ajuda também do programa do tipo IBM-PC em PASCAL. A Figura 13 mostra uma das Tabelas com alguns resultados da pesquisa.

Figura 13 - Diferença entre momento crítico de primeira ordem.

FORÇA NORMAL	DIFERENÇAS PERCENTUAIS ENTRE MOMENTOS CRÍTICOS DE 1ª ORDEM	
	$\frac{(CURVA\ 3 - CURVA\ 1)}{CURVA\ 3}$	$\frac{(CURVA\ 2 - CURVA\ 1)}{CURVA\ 2}$
0,8	-38,25	22,17
0,75	-14,44	26,42
0,65	-19,72	22,84
0,55	-12,59	22,29
0,45	-14,84	24,22
0,35	- 1,39	26,00
0,25	- 2,58	15,25
0,15	-16,88	9,68
0,05	- 8,07	5,57
0	0	0

Fonte: PAULA, 1988.

Foi observado pelo autor que foi fornecido vários métodos, para exames de colunas esbeltas no tocante de carga crítica em flexão composta, tais processos permitem que os estudos fossem mais aprofundados e com margem de erro. Assim, podendo se concluir que o processo de pilar padrão é uma ótima ferramenta de cálculo simples e rápido e o de método geral veloz e com resultados exatos.

Vale (2011) em seu estudo apresenta um programa criado que enfatiza a linearidade do concreto, suas seções retangulares de concreto armado, que englobam os momentos fletores e a força normal, foram utilizados nas estruturas cálculos com processos de secante de iteração.

Por meio das observações feitas pelo autor, concluiu-se que é possível definir o desempenho dos pilares de concreto armado com ajuda de análises seccional, previstas na Lei de Hooke.

Moncayo (2011) apresenta em seus trabalhos os efeitos de 2º ordem em estruturas por meio de coeficientes relacionados pela CAD-TQS e no processo P-Delta e analisou também os esforços de 2º ordem calculados desenvolvidos em 1º ordem. Na Figura 14 é mostrado duas Tabelas comparativas de 1º e 2º ordem e seus respectivos resultados.

Figura 14 - Comparação entre momentos fletores de 1º e 2º ordem.

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO DE 1ª ORDEM (kN.m)				
PILARES	COMB.1	COMB.2	COMB.3	COMB.4
P1	294,70	40,74	377,44	42,00
P2	2288,16	2,80	2285,08	0,28
P3	2285,08	2,80	2288,16	0,28
P4	377,44	40,74	294,70	42,00
P5	23,10	836,08	40,46	818,86
P6	11,76	3104,50	74,20	3042,06
P7	74,20	3104,64	11,76	3042,20
P8	40,46	836,22	23,10	818,86
P9	308,70	32,34	367,08	26,18
P10	63,70	238,98	64,40	367,08
P11	1284,92	15,26	1258,60	11,06
P12	1258,60	15,26	1284,92	11,06
P13	64,40	238,98	63,70	367,08
P14	367,08	32,34	308,70	26,18

Fonte: MONCAYO, 2011.

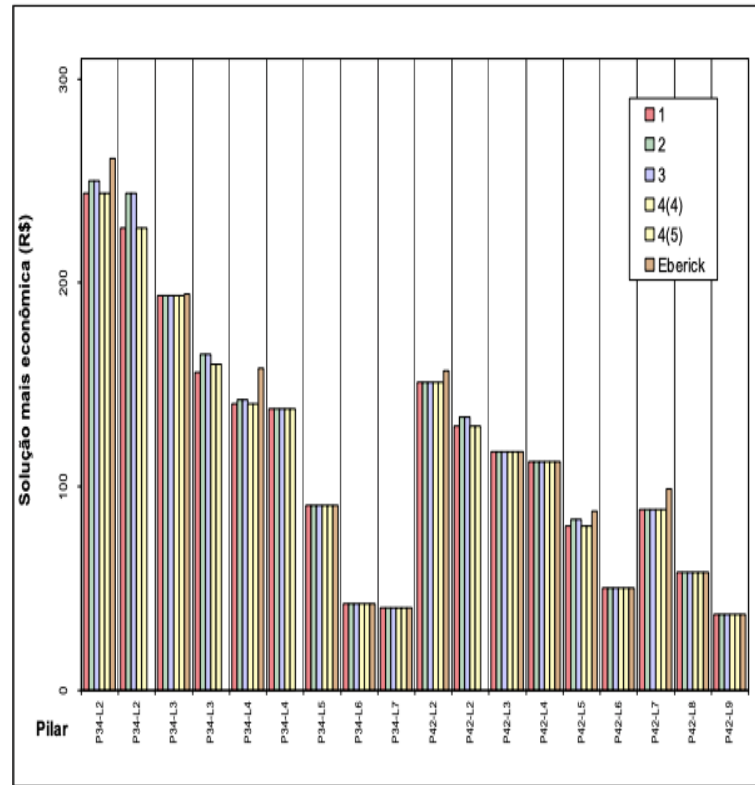
Foi observado pelo autor que o concreto apresentou comportamento não-linear. Assim, para que se tenha um bom resultado necessita de considerações sobre não-linearidades física e geométrica e deslocamentos horizontais relacionados às cargas verticais.

Bastos (2004) fez estudos para criação de cálculos de seções retangulares de concreto armado em flexo-compressão oblíqua, com métodos de informações genéticas, são analisadas as vantagens dos algoritmos no cálculo e resultados na engenharia, com estudos de custos de materiais e seu custo final e suas vantagens robustas e eficientes.

Desse modo, a partir das observações do autor pode-se concluir que as comparações entre os dimensionamentos e os cálculos com uso de ábacos foram resolvidas através do programa criado, que foram comparados também com resultados de outros autores, para que assim pudessem avaliar os custos finais dos materiais.

Smaniotto (2005) através de seu trabalho faz análises sobre métodos de dimensionamentos e particularização dos pilares de concreto armado retangulares com esbeltes, em uma flexão composta oblíqua, resistência e processamento, com esforços entre outros, dentro das normas da NBR 6118:2003, com ajuda de um programa criado o PDOP (Programa para Dimensionamento Otimizado de Pilares). Na Figura 15 é mostradas soluções mais econômicas de custo final. Os resultados foram comparativos entre métodos de cálculo (1, 2, 3 e 4) e o software *Eberick*.

Figura 15 - Solução mais econômica



Fonte: SMANIOTTO, 2005.

Sendo assim, após as observações do autor que foi concluído cálculos para o dimensionamento de pilares por meio de mecanismos computadorizados, além de mostrar a organização de tais dimensionamentos, com ajuda de gráficos e diagramas de resultados de PDOP e Eberick com rápidas análises, também foi utilizado o DXF como ferramenta de arquivos, podendo se compreender com mais abrangência os problemas de flexão composta oblíqua e fornece métodos de custo-benefício final mais acessível.

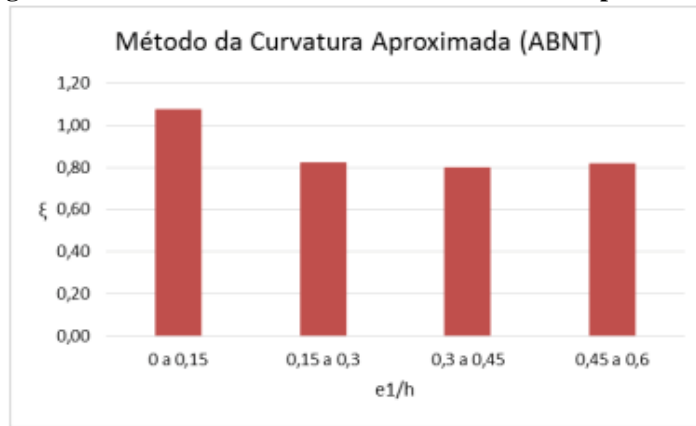
Grossmann (2019) retrata no seu estudo, algoritmos computacionais PFOC(em linguagem de programação Python),afim de aprimorar pilares circulares e retangulares à uma flexão composta oblíqua em pilares com esbeltes, armadura e sem esforço transversal, com cálculos de custo final e soluções para os problemas das estruturas, contidos na norma NBR 6118:2014.

Assim sendo, conclui-se que todo o estudo foi apresentado por meio de informações computacionais, em que trouxe ótimos resultados de cálculos em pilares de concreto armado, a fim de averiguar confiança nos métodos em todos os testes feitos, para uma metodologia verdadeira e válida.

Leitão (2016) demonstra em seu trabalho comparações de procedimentos feitos em pilares esbeltos em flexão reta, utilizando o método de pilar padrão, de pilar- padrão com curvatura aproximada e de amplificação de momentos, todos na norma ACI 318 (2014), com comparações entre cálculos e teorias de pilares esbeltos em momento de 1º ordem, com ajuda de tabelas e gráficos para análise de confiabilidade de técnicas dos pilares esbeltos.

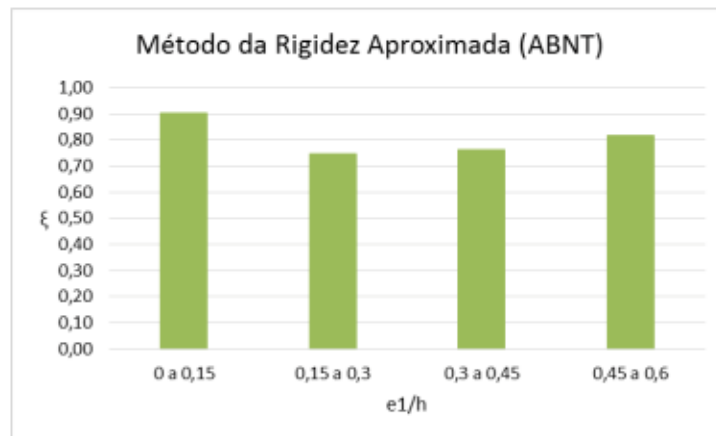
A Figura 16 e Figura 17 ilustra os processos de pilar-padrão com curvatura e com rigidez em k aproximada.

Figura 16 - Método do Pilar-Padrão com Curvatura Aproximada.



Fonte: LEITÃO, 2014.

Figura 17 - Método do Pilar-Padrão com Rigidez k Aproximada.



Fonte: LEITÃO, 2014.

Observou-se que dos processos aconselhados pela NBR 6118:2014, o método mais retrogrado é o de pilar padrão com curvatura aproximada, ainda mais se for avaliado pelo ACI 318(2014). Além disso, observa-se que a distintos processos de cálculo de 2º ordem em pilares esbeltos.

Enciso (2010) em seu estudo experimental, analisou o comportamento de pilares esbeltos de alta resistência na qual são submetidos à flexão composta reta, com o intuito de analisar os valores da excentricidade de 2º ordem a qual devem levar em consideração o dimensionamento de pilares esbeltos de concreto de alta resistência, com finalidade de comparar os resultados teóricos que constam na NBR6118:2003.

Diante o exposto, foi observado que as comparações mostraram bons resultados teóricos e experimentais em relação aos pilares de concreto armado em axial excêntrico, as análises foram de resistência em compressão de concreto que possibilitou conclusões satisfatórias nos métodos apresentados.

Leite (2014) apresenta em seu trabalho a teoria de pilar e esbeltos em concreto armado em flexão composta normal, que foi uma de suas finalidades, avaliar também confiabilidade da norma NBR 6118:2014, para que os procedimentos fossem refinados e esclarecidos para maior segurança das estruturas.

Foi observado, a partir dos resultados apresentados pelo autor, explicações de teoria adequado ao projeto de pilares em concreto armado, com ajuda de diagramas de interação linear, não linear e de não linearidade geométrica e resultados das propostas pela ABNT sobre pilar padrão com curvatura e rigidez aproximada.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos na análise paramétrica utilizaram da variação de comprimento equivalente, resistência à compressão do concreto e do esforço axial característico solicitante. A Tabela 1 apresenta os dados referentes a 36 pilares intermediários dimensionados com a ferramenta computacional de Fernandes (2018).

Tabela 1 - Dados da análise paramétrica

(continua)

PILAR	Hx (cm)	Hy (cm)	d'x (cm)	d'y (cm)	lex = ley (cm)	fck (MPa)	Nk (kN)
P1	25	25	4	4	600	20	600
P2	25	25	4	4	600	40	600
P3	25	25	4	4	600	60	600
P4	25	25	4	4	600	80	600
P5	25	25	4	4	600	20	700
P6	25	25	4	4	600	40	700
P7	25	25	4	4	600	60	700
P8	25	25	4	4	600	80	700
P9	25	25	4	4	600	20	800
P10	25	25	4	4	600	40	800
P11	25	25	4	4	600	60	800
P12	25	25	4	4	600	80	800
P13	25	25	4	4	450	20	600
P14	25	25	4	4	450	40	600
P15	25	25	4	4	450	60	600
P16	25	25	4	4	450	80	600
P17	25	25	4	4	450	20	700
P18	25	25	4	4	450	40	700
P19	25	25	4	4	450	60	700
P20	25	25	4	4	450	80	700
P21	25	25	4	4	450	20	800
P22	25	25	4	4	450	40	800
P23	25	25	4	4	450	60	800
P24	25	25	4	4	450	80	800
P25	25	25	4	4	300	20	600
P26	25	25	4	4	300	40	600
P27	25	25	4	4	300	60	600
P28	25	25	4	4	300	80	600
P29	25	25	4	4	300	20	700
P30	25	25	4	4	300	40	700
P31	25	25	4	4	300	60	700

Tabela 1 - Dados da análise paramétrica

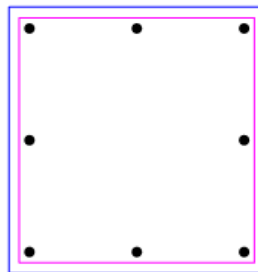
(conclusão)

PILAR	Hx (cm)	Hy (cm)	d'x (cm)	d'y (cm)	lex = ley (cm)	fck (MPa)	Nk (kN)
P32	25	25	4	4	300	80	700
P33	25	25	4	4	300	20	800
P34	25	25	4	4	300	40	800
P35	25	25	4	4	300	60	800
P36	25	25	4	4	300	80	800

Fonte: AUTOR, 2020.

Para todas as seções o arranjo considerado foi o apresentado na Figura 18.

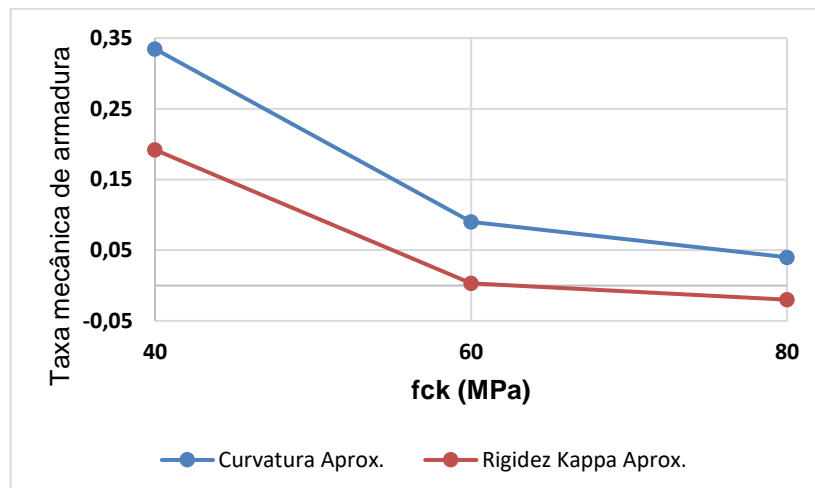
Figura 18 - Arranjo considerado



Fonte: AUTOR, 2020.

3.1 PILARES DE COMPRIMENTO EQUIVALENTE DE 600 CM

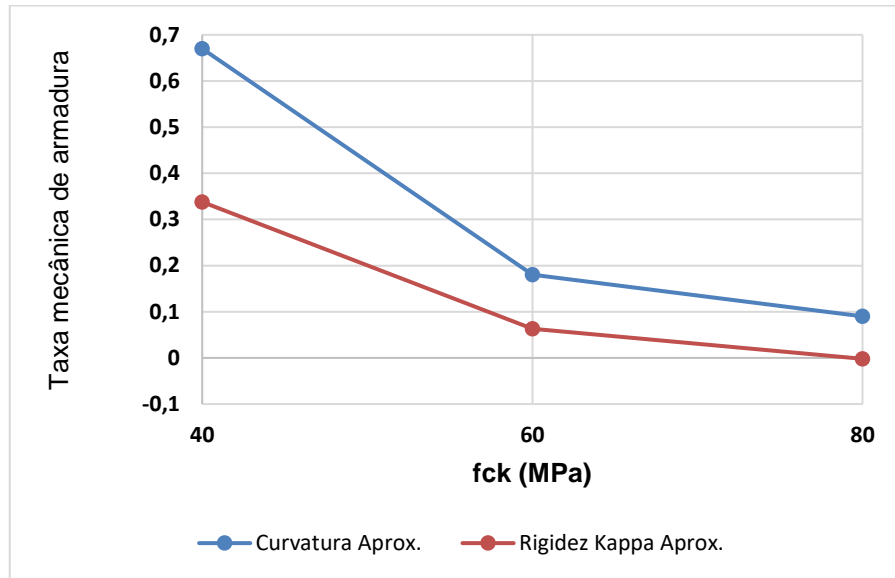
Para os pilares com comprimento equivalente de 600 cm e N_k de 600 kN os resultados são apresentados na Figura 19. O valor da resistência à compressão do concreto foi variado de 40 a 80 MPa.

Figura 19 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck} 

Fonte: AUTOR, 2020.

Para os pilares com comprimento equivalente de 600 cm e N_k de 700 kN os resultados são apresentados na Figura 20. O valor da resistência à compressão do concreto foi variado de 40 a 80 MPa.

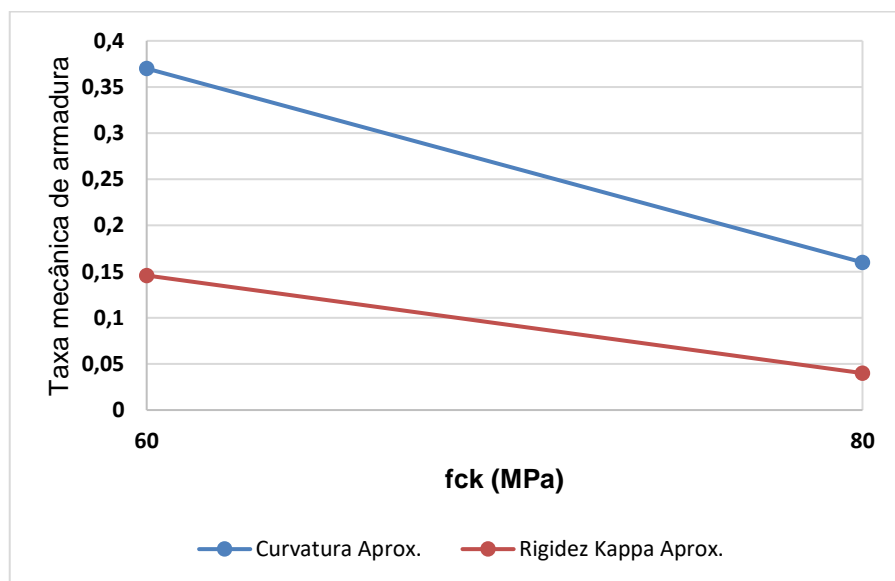
Figura 20 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}



Fonte: AUTOR, 2020.

Para os pilares com comprimento equivalente de 600 cm e N_k de 800 kN os resultados são apresentados na Figura 21. O valor da resistência à compressão do concreto foi variado de 60 a 80 MPa.

Figura 21 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}

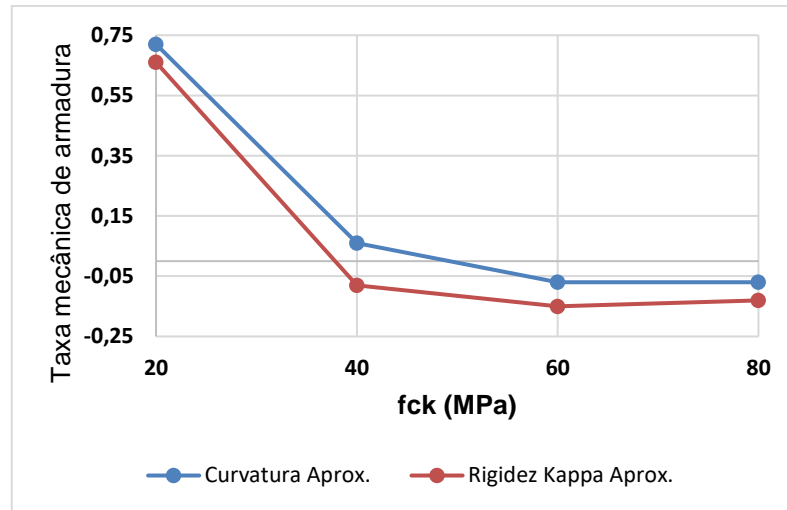


Fonte: AUTOR, 2020.

3.2 PILARES DE COMPRIMENTO EQUIVALENTE DE 450 CM

Para os pilares com N_k de 600 kN os resultados são apresentados na Figura 22. O valor da resistência à compressão do concreto foi variado de 20 a 80 MPa.

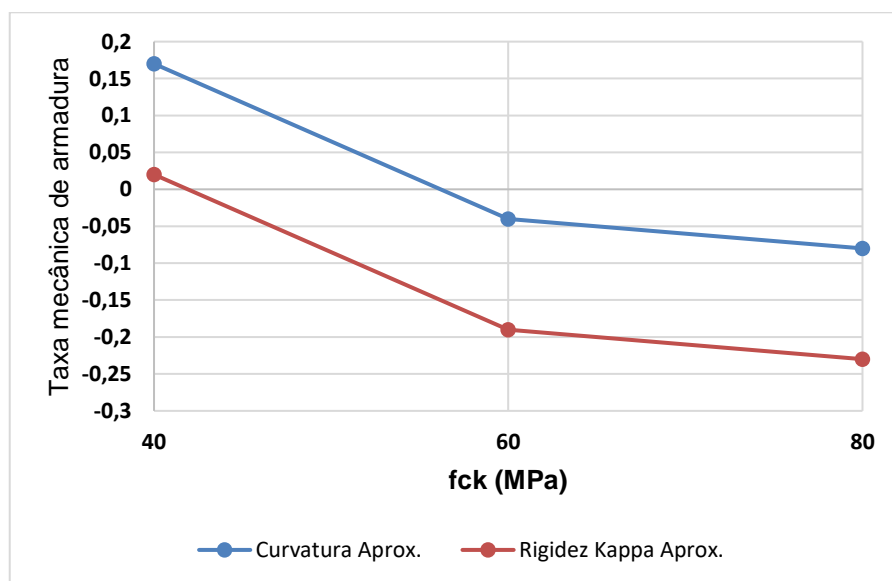
Figura 22 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}



Fonte: AUTOR, 2020.

Para os pilares com N_k de 700 kN os resultados são apresentados na Figura 23. O valor da resistência à compressão do concreto foi variado de 40 a 80 MPa.

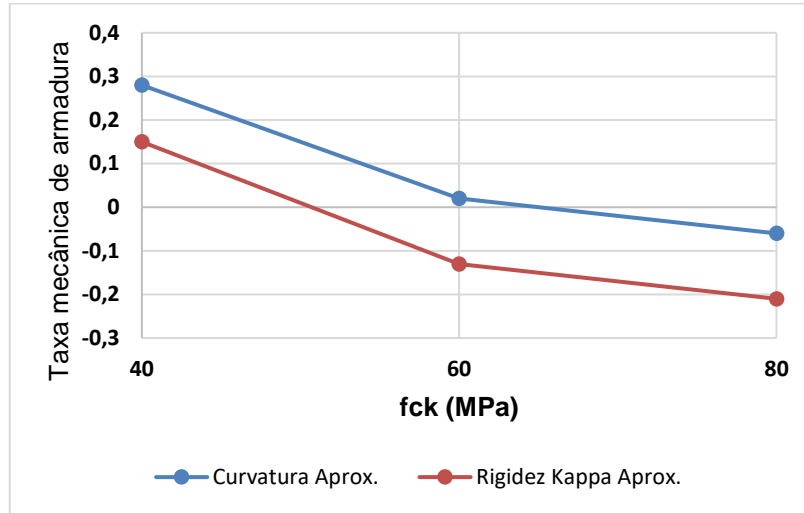
Figura 23 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}



Fonte: AUTOR, 2020.

Para os pilares com N_k de 800 kN os resultados são apresentados na Figura 24. O valor da resistência à compressão do concreto foi variado de 40 a 80 MPa.

Figura 24 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}

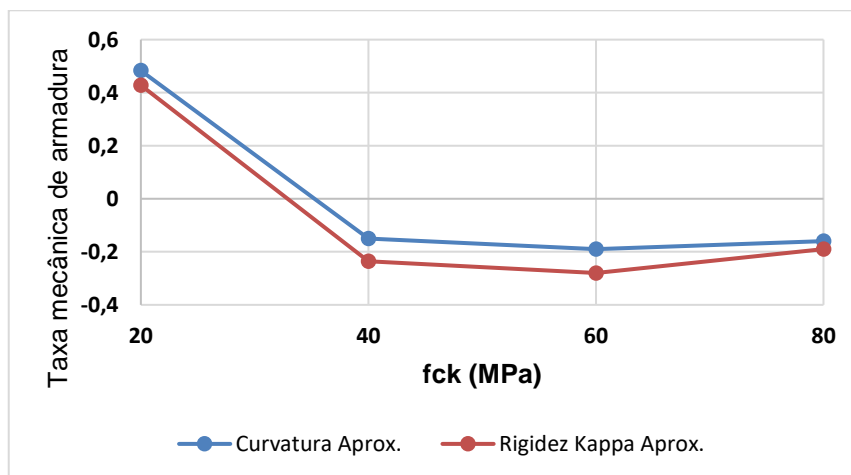


Fonte: AUTOR, 2020.

3.3 PILARES DE COMPRIMENTO EQUIVALENTE DE 300 CM

Para os pilares com N_k de 600 kN os resultados são apresentados na Figura 25. O valor da resistência à compressão do concreto foi variado de 20 a 80 MPa.

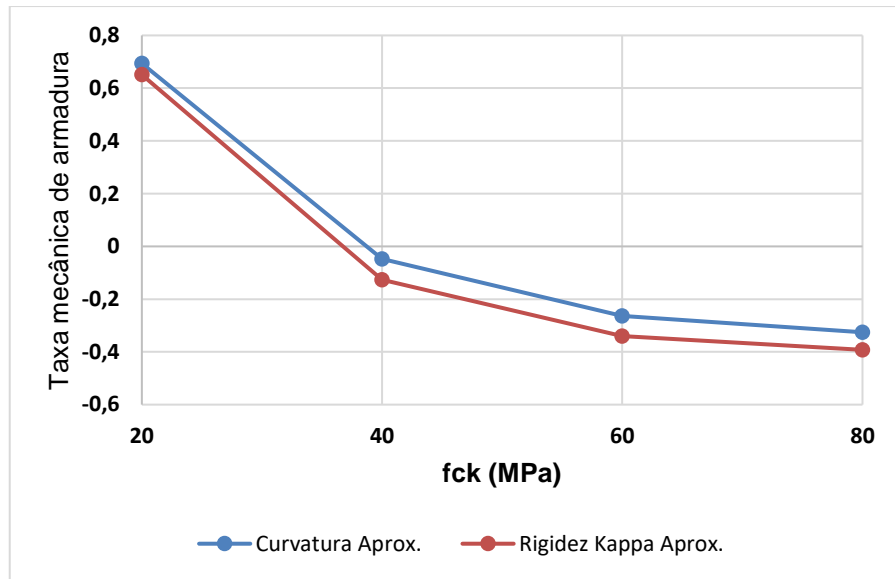
Figura 25 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}



Fonte: AUTOR, 2020.

Para os pilares com N_k de 700 kN os resultados são apresentados na Figura 26. O valor da resistência à compressão do concreto foi variado de 20 a 80 MPa.

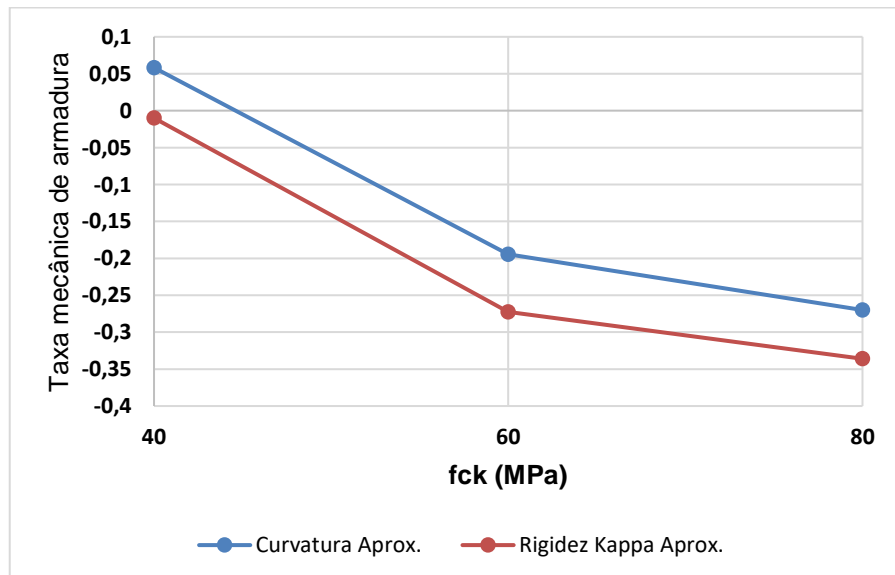
Figura 26 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}



Fonte: AUTOR, 2020.

Para os pilares com N_k de 800 kN os resultados são apresentados na Figura 27. O valor da resistência à compressão do concreto foi variado de 40 a 80 MPa.

Figura 27 - Taxa mecânica de armadura em função do f_{ck}



Fonte: AUTOR, 2020.

É válido ressaltar que para alguns valores de resistência à compressão concreto devido a solicitação, a ferramenta computacional de Fernandes (2018) não encontrou um valor de armadura suficiente para o equilíbrio de esforços. Logo alguns valores são omitidos no estudo

paramétrico. É válido ressaltar também que valores negativos para a taxa mecânica de armadura indicam que a flexo-compressão ocorrida foi de tal magnitude que apenas o concreto foi suficiente para absorção dos esforços, logo matematicamente não foi necessário o uso de armadura longitudinal.

4 CONCLUSÕES

Por meio dos resultados parciais obtidos, foi observado que:

- O aumento da resistência a compressão do concreto, promoveu uma redução considerável de armadura;
- A taxa de armadura pelo método do pilar-padrão com rigidez “ κ ” aproximada foi, em geral, inferior ao método do pilar-padrão com curvatura aproximada;
- Os efeitos de segunda ordem determinados pelo método do pilar-padrão com rigidez “ κ ” aproximada foram inferiores aos obtidos pelo método do pilar-padrão com curvatura aproximada;

A diferença entre os métodos analisados foi menos significativa quando foram considerados menores valores de comprimento equivalente, que independe do valor de N_k .

Por meio do estudo paramétrico, conclui-se que o uso do Método do Pilar-Padrão com Rigidez “ K ” aproximada para obtenção dos esforços de segunda ordem apresentou mais eficiência e redução significativa para o valor da taxa mecânica de armadura. O que resulta em menores valores de área de aço conseqüentemente gera maior economia. Porém, em caso de pilares curtos o método do Pilar-Padrão com Curvatura Aproximada apresenta bons resultados, com pouca diferença em relação ao uso do método de rigidez aproximada.

Para trabalhos futuros é proposto que:

- Haja a inclusão no estudo paramétrico a variação das dimensões do pilar flexo-comprimido;
- O estudo paramétrico também envolva outros métodos de determinação dos esforços de segunda ordem, como o Método Geral.

REFERÊNCIAS

AMARAL, P.T **Análise dos efeitos de segunda ordem em barras comprimidas de concreto armado**, 2000.

Augusto Figueredo Casagrande, Daiane dos Santos Silva (2011). **Análise do dimensionamento de pilares de concreto armado pelo método do pilar padrão com rigidez “K” aproximada e pelo método do pilar padrão com curvatura aproximada para efeitos de 2º ordem**. UNESC- Universidade do Extremo Sul Catarinense.

BORGES, A. C. L. (1999). **Análise de pilares esbeltos de concreto armado submetidos a flexo-compressão oblíqua**. São Carlos, 1999. 98p.

CADAMURO JÚNIOR, I. W. (1997). - **Dimensionamento de pilares esbeltos de concreto armado com seção qualquer solicitados por flexão composta oblíqua**. São Carlos.

CARMO, R.M (1995) **Efeitos de segunda ordem em edifícios usuais de concreto armado**. São Carlos.

E.A. Bastos (2014). – **Otimização de seções retangulares de concreto armado submetidas à flexo-compressão oblíqua utilizando algoritmos genéticos**, Rio de Janeiro.

ENCISO, R. O. **Comportamento de pilares esbeltos de concreto armado de alta resistência sujeitos a flexo composta reta**. PUC-RJ, 2010.

FERNANDES, M. O. **Software para dimensionamento de pilares retangulares em concreto armado**. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia, Centro Universitário Adventista de São Paulo, p. 46. 2018.

Gonçalves, M.M. O. (2017). - **Análise dos efeitos de segunda ordem em pilares de concreto armado aplicando o método dos elementos finitos** – Rio de Janeiro

GROSSMANN, D.D.A.- **Otimização de pilares de concreto armado com seções retangulares e circulares submetidas a flexão composta oblíqua**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

Kemczinski, P.G (2015). – **Cálculo e detalhamento de estrutura de concreto armado de um edifício residencial**. Florianópolis.

KIMURA, A. E. **Cálculo de Pilares de Concreto Armado: Introdução, Visão Geral & Exemplos**. São Paulo: TQS, 2014.

Leitão, E.M.M (2016). **Estudo comparativo de métodos aproximados para análise do efeito de segunda ordem em pilares esbeltos de concreto armado sob flexão composta reta**. Minas Gerais.

LEITE, J. S. **Eficácia da ABNT NBR 6118 (2014) na previsão da carga última de pilares curtos/esbeltos em concreto armado sujeitos a flexão composta normal**. Pará, Brasil, 2019.

PAULA, J. A. (1988). - **Algoritmos para o estudo de pilares esbeltos de concreto solicitados à flexão normal composta.** São Carlos.

PINHEIRO, L. M. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO E PROJETO DE EDIFÍCIOS.** Notas de Aula, Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos 2007.

PINTO, V. S. **Dimensionamento de pilares de concreto de seção transversal retangular usando envoltórias de momentos,** 2017.

RIBEIRO, K. (2011). - **Diagramas para verificação de pilares retangulares em concreto armado submetidos à flexão composta normal.**

Scadelai, M. A (2004).- **Dimensionamento de pilares de acordo com a NBR 6118:2003.**São Carlos.

SMANIOTTO, Alberto. **Dimensionamento e detalhamento automático de pilares retangulares submetidos à flexão composta oblíqua** Florianópolis, 2005.

VENTURINI, W. S. & RODRIGUES R. O. (1996). - **Dimensionamento de peças retangulares de concreto armado solicitados à flexão reta.** São Carlos.

ZUMAETA MONCAYO, W. J. (2011). **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado.** USP, São Carlos.