

IMPACTO ECONÔMICO CAUSADO PELA UTILIZAÇÃO DOS COEFICIENTES DE MAJORAÇÃO PARA SEÇÕES DE PILARES REDUZIDAS

Juslei Vieira de Souza¹, Carlos Henrique Carvalho Júnior².

¹ Engenheira Civil, Pós graduanda em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas, Juslei_vieira@hotmail.com

² Engenheiro Civil, Pós Graduado em Gerenciamento de projetos, Estruturas e Geotecnia, Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu Junior-kik@hotmail.com

Resumo- O presente artigo propõe um estudo para avaliar o impacto econômico de se reduzir as seções de pilares visto que estas utilizam coeficientes de majoração maiores a cada redução. Propõe também, uma análise econômica para cada tipo de seção que será estudada, buscando mostrar qual alternativa se configura na melhor opção em termos de custo-benefício. Com o auxílio do *software Eberick* foi possível dimensionar a estrutura e obter os resultados realizando assim uma composição de custos para cada seção estudada. Pontos importantes como estabilidade global, parâmetros de estabilidade, efeitos de segunda ordem e métodos de cálculo foram abordados a fim de esclarecer como funciona o sistema estrutural. Neste trabalho, os objetivos propostos foram contemplados e pôde-se perceber que a escolha a ser definida é fruto de um conjunto de fatores que vão desde a estética aos gastos com materiais e mão de obra, entre outros, que fazem parte das decisões de um engenheiro que tem como uma das funções buscar sempre economia para o cliente.

Palavras-chave: Pilares, dimensionamento, economia, análise.

Área do Conhecimento: Engenharia Civil

1 INTRODUÇÃO

Devido a exigências do mercado, os projetos arquitetônicos estão cada vez mais elaborados esteticamente, cada vez mais inovadores, visando sempre conforto e qualidade de vida. Unir a estética dos arquitetos à funcionalidade tem feito com que a engenharia evolua em seus métodos construtivos adaptando cada projeto à estrutura mais viável e buscando sempre soluções mais econômicas.

Em virtude dessas exigências por parte de arquitetos e proprietários, as estruturas convencionais executadas em concreto armado e fechamento em alvenaria passam por adaptações para que os pilares não excedam a espessura da parede em que está posicionado. Com isso, os pilares são forçados a terem suas seções reduzidas.

Segundo a ABNT (2014, p.73), a seção transversal dos pilares não deve apresentar dimensão menor do que 19 cm. Em situações especiais, a norma permite a utilização de dimensões entre 19 cm e 14 cm desde que seja respeitada a área mínima de 360 cm². Quando essa seção é reduzida, é necessário que seja acrescido um coeficiente de majoração γ_n , a fim de garantir uma segurança adicional às dimensões que sofreram diminuição. Diante disso, este trabalho visa estudar o impacto econômico que essas reduções podem gerar em uma obra.

O estudo será baseado em seções de 14, 16, 19 cm comparando área de aço, volume de concreto e área de forma. Serão adotados em um mesmo projeto arquitetônico, três dimensionamentos estruturais com as respectivas dimensões acima citadas. As análises serão realizadas através do *software* de cálculo estrutural *Eberick Next* a fim de se concluir a viabilidade econômica de cada seção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pilares

Segundo a ABNT (2014, p.84), “pilares são elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes”.

2.2 Dimensões mínimas dos pilares segundo a norma

A NBR 6118 (2014) em seu item 13.2.3, determina que a seção transversal de pilares qualquer que seja a sua forma, não pode apresentar dimensão menor que 19 cm.

Em casos especiais, por exemplo quando a arquitetura exige um pilar mais esbelto para que o mesmo não exceda a espessura da parede em que está posicionado, a norma permite a redução das seções desde que a menor dimensão do pilar não seja menor que 14 cm. Mas, para a utilização de dimensões entre 19 cm e 14 cm é necessário que se multipliquem os esforços solicitantes de cálculo a serem considerados no dimensionamento por um coeficiente adicional γ_n , de acordo com o indicado no Quadro 1.

QUADRO 1 – Valores do coeficiente adicional γ_n para pilares e pilares-parede

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
onde $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$; b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm). NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.						

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

Em qualquer situação, não se permite que a seção transversal do pilar possua área inferior a 360 cm².

2.3 Estabilidade Global

2.3.1 Efeitos de Segunda ordem

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

Os efeitos de primeira ordem estão relacionados ao deslocamento causado pela ação da força horizontal ao atingirem a estrutura. Os efeitos de segunda ordem são uma consequência do deslocamento de primeira ordem em relação ao peso da estrutura. Quanto maior o peso maior o efeito de segunda ordem.

Os efeitos de segunda ordem, podem ser desprezados sempre que não representarem acréscimo superior a 10 % nas reações e solicitações na estrutura. (NBR 6118, 2014, Item 15.2, p.100).

2.3.2 Parâmetros de estabilidade

O grande problema das estruturas deslocáveis está relacionado à estabilidade global, pois os deslocamentos horizontais nos vários andares criam excentricidades crescentes da força normal dos pilares (ARAÚJO, 2014, p.93).

A NBR 6118 (2014), em seu item 15.4.2, permite classificar as estruturas em estruturas de nós fixos e estruturas de nós móveis. Nas estruturas de nós fixos os efeitos de segunda ordem são inferiores a 10% dos esforços de primeira ordem e por isso são considerados desprezíveis. As estruturas de nós móveis são aquelas nas quais os efeitos globais de segunda ordem são superiores a 10% dos esforços de primeira ordem e por isso são considerados importantes.

Assim, a norma apresenta dois critérios para indicar como a estrutura será classificada de acordo com a deslocabilidade de seus nós: o Parâmetro α e o coeficiente γ_z . Estes parâmetros verificam a condição de que os efeitos de segunda ordem não ultrapassem em mais de 10% aqueles calculados pela análise de primeira ordem.

2.3.2.1 Parâmetro α

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014, item 15.5.2, p. 104), “uma estrutura reticulada simétrica pode ser considerada como sendo de nós fixos se seu parâmetro de instabilidade α for menor que o valor α_1 . ”

O parâmetro α avalia a estabilidade global das estruturas, porém não é capaz de estimar os efeitos de segunda ordem.

2.3.2.2 Coeficiente γ_z

O coeficiente γ_z classifica as estruturas quanto ao deslocamento dos nós. Através dele, é possível avaliar a importância dos esforços de segunda ordem em relação aos esforços de primeira ordem. Essa avaliação é efetuada a partir dos resultados de uma análise linear de primeira ordem (ABNT, 2014, item 15.5.3 p.105), adotando-se os valores de rigidez dados no item 15.7.3 da mesma norma.

Uma estrutura é considerada de nós fixos se a condição $\gamma_z \leq 1,1$ for obedecida.

2.3.2.3 Processo P- Δ

Para as estruturas consideradas de nós móveis, é necessária uma análise global, que considere a não linearidade física e geométrica das estruturas. Este processo é chamado de P- Δ .

O processo P- Δ analisa a diferença entre as deslocabilidades da estrutura e compara o valor com a análise de primeira ordem. O valor encontrado é utilizado na majoração das forças para a realização dos cálculos.

O efeito P- Δ está associado ao valor da carga axial P e um deslocamento delta, que geram esforços adicionais à estrutura.

2.3.3 Efeitos locais de segunda ordem

Os efeitos locais de 2ª ordem estão relacionados a uma parte isolada da estrutura. Para os pilares, a NBR 6118:2014 em seu item 15.7.4, afirma que a análise global de segunda ordem fornece apenas os esforços nas extremidades das barras, devendo ser realizada uma análise dos efeitos locais de segunda ordem ao longo dos eixos das barras comprimidas.

2.3.3.1 Determinação dos efeitos locais de segunda ordem

De acordo com a ABNT (2014, Item 15.8.3, p.108), o cálculo dos efeitos locais de segunda ordem pode ser feito pelo Método Geral ou por métodos aproximados.

Os métodos aproximados de cálculo apresentados pela norma são:

- Método do pilar-padrão com curvatura aproximada;
- Método do pilar-padrão com rigidez κ aproximada;
- Método do pilar-padrão acoplado a diagramas M, N, 1/r;
- Método do pilar-padrão para pilares de seção retangular submetidos à flexão composta oblíqua.

2.3.4 Programa de cálculo utilizado – EBERICK

O *Eberick* é um *software* computacional criado para realizar cálculo de estruturas em concreto armado. Desenvolvido pela AltoQi, empresa líder nacional em software para projetos prediais, o programa engloba as etapas de lançamento e análise da estrutura, dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais, de acordo com os parâmetros de projeto estabelecidos pela NBR 6118 (2014).

Para o dimensionamento de pilares, o *Eberick* permite a utilização de três métodos de cálculos: método do pilar-padrão acoplado a diagramas M x N x 1/r, o método do pilar-padrão com curvatura aproximada (utilizado nos pilares de seção composta) e o método do pilar-padrão com rigidez aproximada (utilizado nos pilares de seção retangular).

O *software* executa uma análise de primeira ordem onde permite que o usuário interfira nas hipóteses de cálculo como, por exemplo, alteração de vinculações entre os elementos estruturais (utilização de nós rígidos ou semirrígidos nas ligações entre pilares e vigas) para otimizar o cálculo da estrutura.

Por fim, ao finalizar o dimensionamento, pode-se exibir um resumo da estrutura onde são contemplados quantitativos de matérias a serem gastos para a execução.

3 METODOLOGIA

A pesquisa classifica-se como explicativa já que tem como objetivo identificar os fatores que determinam a ocorrência dos fenômenos descritos.

Em relação a técnica amostral, o estudo se baseará em um projeto arquitetônico de um prédio de quatro pavimentos tipo, para o qual serão confeccionadas plantas de forma e detalhamento de pilares utilizando três diferentes dimensões sendo elas de 14 cm, 16 cm e 19 cm. Todas as vigas serão lançadas com o tamanho de 14x45 cm, será adotada classe de agressividade moderada, o concreto terá resistência $f_{ck}=25$ Mpa e os cobrimentos serão: 3 cm para vigas e pilares e 4,5 cm para peças em contato com o solo. Nas ligações semirrígidas serão considerados redução no engaste de 25%.

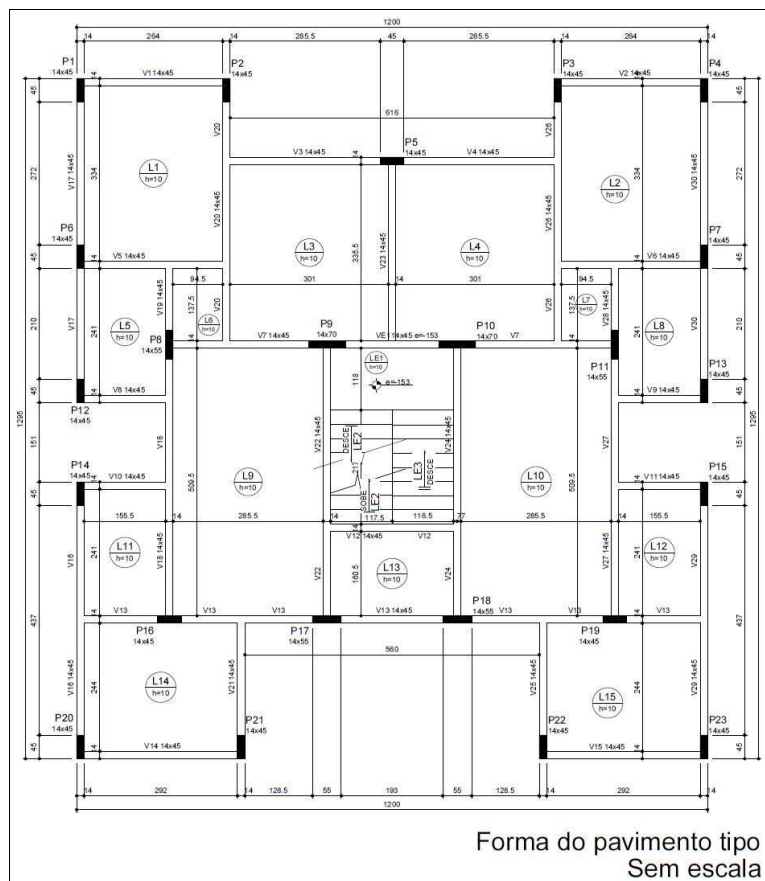
Os dados serão coletados através de cálculos realizados pelo *software Eberick Next* que considera a estrutura como um pórtico espacial e as lajes em analogia de grelhas. Para cada seção de pilar informada, o *Eberick* fornecerá os valores encontrados nas análises de primeira e segunda ordem. A análise de segunda ordem será feita pelo processo P- Δ .

As formulações tomaram por base as prescrições da norma brasileira NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento.

Neste estudo comparativo de resultados, visando avaliar o impacto econômico causado pela redução das seções de pilares, será adotado o dimensionamento por rigidez κ aproximada, método de cálculo de pilares de seção retangular constante, adotado como padrão pelo *software Eberick Next*. Para análise de resultados serão considerados somente verificações de estado limite último (ELU).

A pesquisa será de forma quantitativa utilizando resultados obtidos pela análise gerada pelo programa. Assim, será possível mensurar o quantitativo de materiais gastos em todo projeto, como: volume de concreto, fôrmas e quantidade de aço, permitindo posteriormente, produzir uma estimativa de custo que se baseará em composições feitas pelo SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil).

FIGURA 1 - Planta de Fôrma – Pavimento Tipo



Fonte: Dados da pesquisa

4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os dados para análise foram obtidos pelo *Software Eberick*, no qual foram analisados três horizontes de comparação entre os resultados encontrados. Foram comparados a estabilidade global, consumo de aço/m³ utilizado e análise do custo final de cada estrutura projetada com suas respectivas seções.

4.1 Estabilidade Global

Analisando a estabilidade global da estrutura, observou-se que os pilares de seções reduzidas sofrem maiores variações em relação as demais seções conforme ilustram as Tabelas 1, 2 e 3.

TABELA 1 - Parâmetros de Instabilidade

Deslocamentos Horizontais	Direção X	Direção Y
	0,90	0,90
Yz	1,10	1,10

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

TABELA 2 - Parâmetros de instabilidade para seções com ligações semirrígidas

		Seções dos Pilares		
		14x45 cm	16x45 cm	19x40 cm
Deslocamento Horizontal	Direção X	0,26	0,23	0,20
	Direção Y	0,31	0,29	0,27

Yz	Direção X	1,14	1,13	1,11
	Direção Y	1,26	1,24	1,23
Variação P-Δ (%)	Vento	20,35%	17,40%	14,85%
	Desaprumo	21,03%	17,96%	13,85%

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 3 - Parâmetros de instabilidade para seções com ligações engastadas

		Seções dos Pilares		
		14x45 cm	16x45 cm	19x40 cm
Deslocamento Horizontal	Direção X	0,14	0,17	0,16
	Direção Y	0,19	0,18	0,19
Yz	Direção X	1,07	1,09	1,09
	Direção Y	1,12	1,11	1,11
Variação P-Δ (%)	Vento	9,52%	12,97%	12,94%
	Desaprumo	9,85%	8,91%	13,46%

Fonte: Dados da pesquisa

Comparando os resultados encontrados no processamento da estrutura para os efeitos de primeira e segunda ordem através do coeficiente Yz e processo P-Δ para cada um dos casos citados, observou-se que os pilares com seções reduzidas tiveram um aumento em seus esforços de primeira ordem de 20% nos cálculos realizados com nós semirrígidos.

A respeito da estabilidade global nota-se que os pilares com seções maiores são mais estáveis.

Nas estruturas engastadas pode-se observar que os deslocamentos e o coeficiente Yz estão aproximadamente no limite estabelecido por norma. Logo, os efeitos de segunda ordem devido ao processo P-Δ são desprezíveis neste tipo de análise para todos os casos estudados.

4.2 Relação de aço/m³

Para efeitos de cálculo foram analisadas duas situações. Primeiro analisou-se a diferença entre as seções para uma situação em que os pilares são engastados nas vigas com nós semirrígidos (redução de 25% no engaste) e a segunda situação onde as ligações foram totalmente engastadas.

Com os resumos de materiais obtidos através do *software Eberick*, foram comparados a relação de aço/m³ de cada seção proposta com o objetivo de alcançar a economia da estrutura estudada.

Pode-se observar que quanto menor a seção do pilar maior o consumo de aço pois segundo a norma, quando se usa dimensões menores que 19 cm deve-se majorar os esforços solicitantes finais de cálculo.

Conforme a Tabela 4, a diferença de consumo chega a 66,5% entre as seções de 14x45cm e 19x40cm e 53,85% entre as seções de 16x45 cm e 19x40 cm. Comparando as seções de 14x45 cm e 16x45 cm, ainda percebemos uma grande diferença no consumo de aço chegando a 27,5% de aumento.

Essa diferença se dá pelo fato de que quando as seções são reduzidas, obrigatoriamente as cargas atuantes precisam ser majoradas. Quanto maior carga maior será a relação de aço para combater o momento atuante.

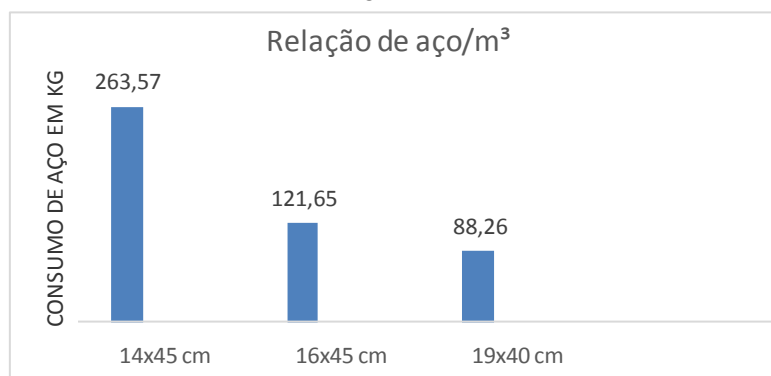
TABELA 4 - Resumo de materiais para ligações semirrígidas

14x45 cm			16x45 cm			19x40cm		
Ø	Comprimento (m)	Peso (Kg)	Ø	Comprimento (m)	Peso (Kg)	Ø	Comprimento (m)	Peso (Kg)
5.0	3963	672	5.0	3142	533	5.0	3006	510
10.0	1080	733	10.0	1748	1186	10.0	1921	1303
12.5	3338	3538	12.5	611	648	12.5	-	-
total:		4942	total:		2366	total:		1812

Forma	343,47 m ²	Forma	329,55 m ²	Forma	318,74 m ²
Concreto	18,75 m ³	Concreto	19,45 m ³	Concreto	20,53 m ³

Fonte: Dados da pesquisa

FIGURA 2– Relação de aço /m³ utilizado em cada seção estudada com ligações Semirrígidas



Fonte: Dados da pesquisa

Semelhante à análise anterior, podemos observar a grande diferença no consumo de aço entre as seções apontadas conforme Tabela 5. A variação é um pouco maior pois em ligações engastadas há um aumento do momento fletor na ligação da viga com o pilar e quanto maior o momento fletor, maior a taxa de armadura.

Cabe a observação de que à medida que a estrutura fica mais rígida, ela tende a apresentar menores deformações. O calculista deve avaliar o projeto e lançar as vinculações de acordo com a rigidez desejada.

TABELA 5 - Resumo de materiais para ligações engastadas

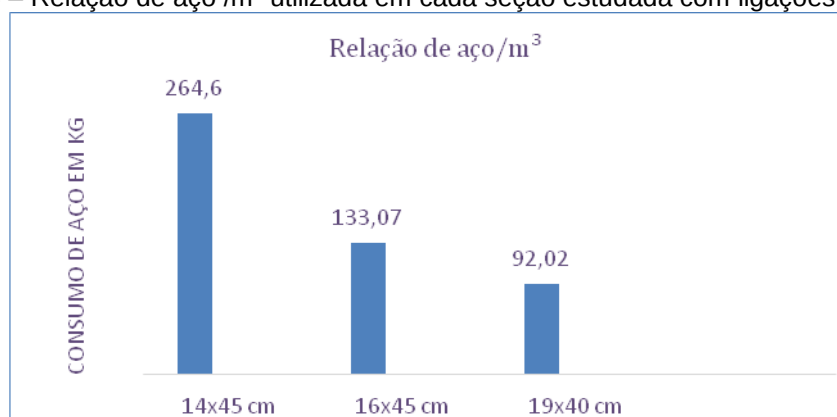
14x45 cm			16x45 cm			19x40cm		
Ø	Comprimento (m)	Peso (Kg)	Ø	Comprimento (m)	Peso (Kg)	Ø	Comprimento (m)	Peso (Kg)
5.0	3960	671	5.0	3311	561	5.0	2744	417
10.0	1052	713	10.0	2095	1421	10.0	1794	1217
12.5	3375	3577	12.5	572	606	12.5	241	256
total:		4961	total:		2588	total:		1889

Forma	343,47 m ²	Forma	329,55 m ²	Forma	318,74 m ²
Concreto	18,75 m ³	Concreto	19,45 m ³	Concreto	20,53 m ³

TABELA 6 - Comparativo de custos entre seções de pilares

Seção	Custo	
	Semi-engastado	Engastado
14x45	R\$ 53.188,74	R\$ 53.320,60

Fonte: Dados da pesquisa

FIGURA 3 – Relação de aço /m³ utilizada em cada seção estudada com ligações engastadas

Fonte: Dados da pesquisa

4.3 Composição de custos

Com os quantitativos de aço, concreto e fôrma obtidos pelo *Software Eberick* e usando a composição dos custos fornecidos pelo Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) referente ao Estado de Minas Gerais, com data-base outubro de 2015, construiu-se uma tabela de custos para os pilares com todas as estruturas estudadas, representada pela Tabela 7, onde foram considerados mão de obra e serviço, empregando os seguintes valores: Custo do concreto C_c = R\$ 317,48 / m³ (F_{ck} = 25 MPa), custo de fôrmas C_f = R\$ 37,67 / m² (madeirite plastificado 1,20x2,10 m considerando cinco utilizações), e custo de aço C_a = R\$ 6,94 / kg.

16x45	R\$ 35.009,17	R\$ 36.549,85
19x40	R\$ 31.100,08	R\$ 31.634,46

Fonte: Dados da pesquisa

A partir da Tabela 6 e avaliando-se os custos relativos dos serviços, observa-se que de forma geral, o custo total dos pilares tem um aumento significativo à medida que se reduz a seção.

Analisando a estrutura com ligações entre vigas e pilares com nós semirrígidos, observou-se que a variação de custo dos pilares com seções de 14x45 cm e 19x40 cm é de R\$ 22.088,66, representando um acréscimo de 41,5%.

Comparando a estrutura com ligações entre vigas e pilares com nós engastados, observou-se que a variação de custo dos pilares com seções de 14x45 cm e 19x40 chega a R\$ 21.686,14 representando um acréscimo de 40,7%.

Observou-se também que os custos do aço representam a parcela mais significativa na composição do custo total dos pilares, chegando a um valor de R\$34.297,48 para as seções de 14x45 cm, representando 64,48% do valor total gasto. Já nas estruturas com seções de 16x45 cm o aço totalizou um valor de R\$16.420,04 e somou um valor de R\$12.575,28 nas seções de 19x40cm em cálculos com ligações semirrígidas.

Percebe-se que as diferenças são expressivas e refletem com muita agressividade no valor final de uma obra.

5 CONCLUSÃO

Para este trabalho foi proposto um estudo para avaliar o impacto econômico que as reduções nas seções dos pilares podem causar em uma obra visando minimizar os custos. Com esse objetivo, o dimensionamento de cada seção foi formulado e estudado obtendo assim os resultados esperados.

Concluiu-se que aumentando a seção dos pilares de 14x45 cm para 19x40 cm tem-se uma economia de cerca de 40% no valor final da obra.

De forma geral, os resultados permitiram concluir que quanto menor a seção do pilar maior será o seu custo final pois o aço representa a parcela mais significativa na composição dos custos de pilares.

Foi verificado também que os impactos não são somente econômicos, uma vez que a estabilidade global da estrutura é totalmente influenciada pelas seções calculadas. Pilares com seções menores sofrem maiores variações de acordo com os efeitos de segunda ordem.

Estes fatores reunidos geram uma economia considerável nos custos da estrutura gerando consequentemente benefícios ao consumidor por minimizar o custo final da obra.

Cabe ressaltar que este estudo não replica a todos os outros projetos semelhantes mas possibilita uma base técnica para a tomada de decisões dessa magnitude, pois cada projeto é único e a decisão de se reduzir ou não as seções dos pilares devem ser tomadas em conjunto com o projetista estrutural e o arquiteto visando obter conforto, estética, segurança e economia para o cliente.

6 REFERÊNCIAS

ALTOQI – **Software Eberick Next.**

<<http://www.altoqi.com.br/software/projeto-estrutural/eberick-v9>

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado.** Rio Grande: Dunas, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2014 – Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Pilares de Concreto Armado.** Notas de Aula, Bauru: Departamento de Engenharia Civil, UNESP, 2015.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado.** Vol. 02. São Paulo: Pini, 2013.

KIMURA, Alio E. **EE05 - Pilares.** Notas de Aula, São Paulo: Curso de pós-graduação FESP, 2010.

SCADELAI, Murilo A.; PINHEIRO, Libânio M. **Estruturas de Concreto**. Notas de Aula, São Carlos: Departamento de Estruturas, USP, 2007

SINAPI - **Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil**. 2012. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx#categoria_648>