

ANÁLISE DA SEÇÃO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO – ESTUDO DE CASO

Arthur Clasen (1), Marcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)Arthurlino@msn.com, (2)marciovito@unesc.net

RESUMO

Construções em concreto armado sejam elas de pequeno ou de grande porte, três elementos estruturais são os mais comuns: as lajes, as vigas e os pilares. Os benefícios dessa estrutura, como economia, conservação e impermeabilidade, fazem com que o concreto armado seja utilizado em grande escala em todo o mundo. Um desses elementos estruturais é o pilar, que é de grande importância na composição do sistema estrutural, onde a sua ruptura pode levar a danos irreversíveis e progressivos a estrutura como um todo. Os pilares têm a função de suportar e transmitir os esforços da estrutura até as fundações. O presente estudo, tem o objetivo de avaliar as variações das dimensões das faces dos pilares executados em comparação aos projetados, influenciando diretamente no índice de esbeltez dos pilares. Desta forma foram analisadas as seções dos pilares executados *in loco* e verificou sua fidelidade ao que foi projetado. Os dados foram coletados com o auxílio de um taqueômetro e analisados conforme o projeto e a NBR 6118/2007. Os resultados coletados mostraram que para construção estudada os defeitos geométricos não foram relevantes.

Palavras-Chave: Concreto Armado. Seção Transversal. Índice de esbeltez.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os materiais utilizados pelo homem, o concreto é o segundo mais utilizado no mundo, perdendo apenas para a água. É um material estrutural composto por cimento Portland, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita ou cascalho) e água, formando assim uma mistura heterogênea (ZANETTE, 2011).

As funções dos pilares são as de conduzir as cargas verticais dos pavimentos para as fundações, onde decorre seu comportamento primário de barra comprimida, e de fornecer estabilidade ao edifício quanto aos esforços horizontais (PINHEIRO E SCADELAI, 2003).

A falta de cuidado ou a técnica construtiva na hora da execução faz com que as medidas de projeto não sejam dadas a devida importância, ocorrendo que a execução não fique conforme o que foi projetado.

Com a imperfeição linear ocorre variação da seção, alterando seu momento de inércia, raio de giração e conseqüentemente seu índice de esbeltez.

É válido ressaltar que o momento de inércia, o raio de giração e principalmente o índice de esbeltez dependem apenas de sua forma geométrica, independentemente de forças, cargas e/ou tensões. Desta forma o presente trabalho pretende verificar se as medidas dos pilares executadas *in loco* estão de acordo com as medidas de projeto, levando em consideração a técnica construtiva e o padrão de qualidade da empresa. Com os resultados obtidos *in loco* pode-se analisar estatisticamente demonstrando possíveis erros encontrados nas seções dos pilares.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa serão analisados pilares do subsolo de um edifício de múltiplos pavimentos, totalizando 20 pilares, sendo 10 de mesma seção e 10 variáveis. No entanto, para o presente estudo foi levado em consideração apenas os 10 pilares de mesma seção.

2.1 RECOMENDAÇÕES PARA PILARES DE ACORDO COM A NORMA

Conforme a NBR 6118/2007 as dimensões mínimas da seção transversal de pilares são fixadas no item 13.2.3 onde, a seção transversal de pilares não deve apresentar dimensão menor que 19 cm.

Em casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 19 cm e 12 cm, desde que se multipliquem as ações a serem consideradas no dimensionamento por um coeficiente adicional γ_n , de acordo com o indicado na Tabela 01. Em qualquer caso, a norma não permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm².

Tabela 01 – Valores do coeficiente adicional γ_n

b	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35

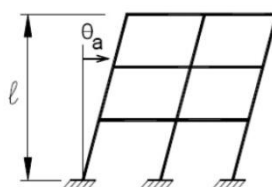
Fonte: NBR 6118/2007

Nesta tabela, b é a menor dimensão da seção transversal do pilar e γ_n é um coeficiente que deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nos pilares, quando do dimensionamento.

A NBR 6118/2007 ainda comenta sobre imperfeições geométricas, segundo o item 11.3.3.4, na verificação do estado limite último das estruturas reticuladas, devem ser consideradas as imperfeições geométricas do eixo dos elementos estruturais da estrutura descarregada. Essas imperfeições podem ser divididas em dois grupos do tipo imperfeições globais e imperfeições locais.

A imperfeição global é a consideração na análise global da estrutura do desaprumo dos elementos verticais, sejam eles contraventados ou não. A Figura 01 ilustra como esse desaprumo é considerado.

Figura 01 – Imperfeições geométricas globais

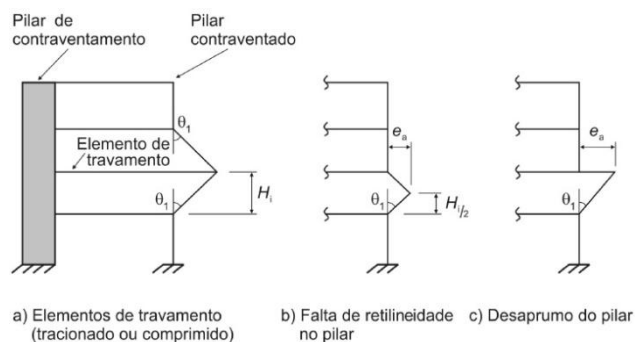


Fonte: NBR 6118/2007

De acordo com a norma NBR 6118/2007, o desaprumo mínimo não deve obrigatoriamente ser somado aos esforços causados pela ação do vento. A recomendação desta é que se deve considerar o mais desfavorável entre eles.

Para Imperfeições locais os elementos que ligam pilares contraventados a pilares de contraventamento, usualmente vigas e lajes, deve ser considerada a tração decorrente do desaprumo do pilar contraventado (Figura 02a). No caso da verificação de um lance de pilar, deve ser considerado o efeito do desaprumo ou da falta de retinidade do eixo do pilar (Figura 02 b e c, respectivamente).

Figura 02 – a) Elementos de travamento (tracionado ou comprimido); b) Falta de retinidade no pilar; c) Desaprumo do pilar.



Fonte: NBR 6118/2007

Admite-se que, nos casos usuais, a consideração apenas da falta de retilinidade ao longo do lance de pilar seja suficiente. Infelizmente a NBR não trata sobre não conformidades de execução, cujo problema pode ser muito diferente para cada obra e que seguir um padrão de execução não é uma constância na construção civil.

2. 2 ÍNDICE DE ESBELTEZ

Pode-se dizer que, quanto maior o esbeltez, maior a possibilidade de o elemento comprimido flambar. A convenção adotada para a determinação do índice de esbeltez está demonstrada na Figura 03.

Figura 03 – Flambagem do elemento comprimido

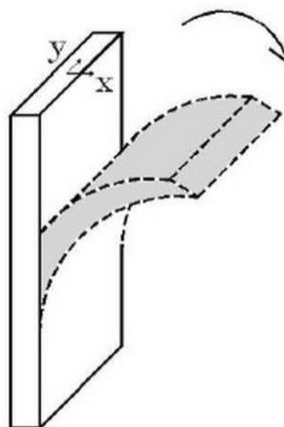


Imagem adaptada Fonte: MELGES 2007

Melges (2007) ainda classifica os pilares como curtos, moderadamente esbeltos e esbeltos de acordo com o índice de esbeltez (λ):

- Pilares robustos ou pouco esbeltos $\rightarrow \lambda \leq \lambda_1$
- Pilares de esbeltez média $\rightarrow \lambda_1 < \lambda \leq 90$
- Pilares esbeltos ou muito esbeltos $\rightarrow 90 < \lambda \leq 140$
- Pilares excessivamente esbeltos $\rightarrow 140 < \lambda \leq 200$

Os pilares curtos são aqueles para os quais não há necessidade de se considerar os efeitos de segunda ordem. Para esses pilares, os esforços solicitantes obtidos na configuração deformada (teoria de segunda ordem) são aproximadamente iguais aos esforços calculados na configuração indeformada

(teoria de primeira ordem). Em geral, admite-se que os efeitos de segunda ordem podem ser desprezados quando eles causam um acréscimo nos esforços solicitantes de no máximo 10%. (ARAÚJO, 2010).

Para os pilares moderadamente esbeltos, os efeitos de segunda ordem são importantes e não podem ser desprezados. Entretanto, esses efeitos podem ser considerados por meio de processos simplificados. Em geral, nesses processos, arbitra-se uma configuração deformada para o eixo do pilar e calcula-se o máximo momento fletor solicitante ao longo do eixo. Com o momento máximo e com o esforço normal, dimensiona-se a seção transversal do pilar em flexo-compressão. (ARAÚJO, 2010).

Nos pilares esbeltos, os efeitos de segunda ordem são tão importantes que não se pode admitir o emprego de processos simplificados. Para esses pilares é exigida uma análise rigorosa, que leva em conta a não linearidade física decorrente do comportamento mecânico dos materiais, bem como a não linearidade geométrica. (ARAÚJO, 2010).

As exigências feitas pela NBR6118/2007, para a verificação da segurança de pilares esbeltos, estão resumidas no quadro abaixo.

Tabela 02 – Processo de Cálculo

λ	Consideração das deformações	PROCESSO DE CÁLCULO			Consideração da fluência
		Exato	Aproximado (diagramas M, N, 1/r)	Simplificado	
$\leq \lambda_1$	dispensável	-	-	-	-
≤ 90	obrigatória	dispensável	permitido	permitido	dispensável
≤ 140				não permitido	obrigatória
≤ 200		obrigatório	não permitido		

Fonte: CAMPOS FILHO 2011

No item 15.8.1, da NBR 6118/2007, fica vedado o uso de pilares com λ maior que 200, exceto no caso de postes com força normal menor que $0,10 \times f_{cd} \times A_c$.

2. 2. 1 INDICE DE ESBELTEZ PARA SEÇÃO RETANGULAR

Pode-se verificar que o índice de esbeltez (λ) depende única e exclusivamente da forma da peça, dependendo do momento de inércia (I) e do raio de giração (r). Para uma seção retangular verifica-se:

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad \text{Sendo} \quad r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Logo} \quad r = \sqrt{\frac{\frac{b \times h^3}{12}}{b \times h}}$$

Simplificando:

$$r = \sqrt{\frac{h^2}{12}} = \frac{h}{\sqrt{12}}$$

Então:

$$\lambda = \frac{L}{r} \quad \text{Substituindo} \quad \lambda = \frac{L}{\left(\frac{h}{\sqrt{12}}\right)} = \frac{\sqrt{12} \times L}{h}$$

Onde h é dimensão da seção transversal paralela à direção em que o pilar vai se deslocar pelo efeito da flambagem e L o comprimento de flambagem do pilar.

2. 3 ESTAÇÃO TOTAL E GABARITO

Estação total ou taqueômetro é um instrumento eletrônico utilizado na medida de ângulos e distâncias. A maioria dos instrumentos das estações totais mede ângulos por meio de scanner eletro-óptico de extrema precisão de códigos de barra digitais atados em cilindros ou discos de vidro rotativos dentro do instrumento.

Este instrumento é capaz de medir ângulos de 0,7 segundos, medir distâncias com precisão de 0,1 milímetros, sendo a maioria das aplicações com precisão de 1,0 milímetro. Alguns tipos usam um prisma de vidro como refletor para o sinal, e pode medir distâncias de até quilômetros, mas alguns instrumentos não possuem refletores e podem medir distâncias de objetos, limitando-se a poucas centenas de metros. Com a necessidade pontos exatos e sendo os mesmos próximos, a utilização da estação total foi sem o prisma.

Para a obtenção das distancias com exatidão foi utilizado a estação total de acordo com a Figura 04.

Figura 04: Locação dos pontos utilizando estação total.



Fonte: Do Autor

Com a estação total foram coletados os pontos dos 4 cantos (vértice) de cada pilar a cada 20 cm desde o topo do pilar até sua base, utilizando uma régua graduada de acordo com a Figura 05.

Figura 05: Gabarito com marcação de 20 em 20 cm.



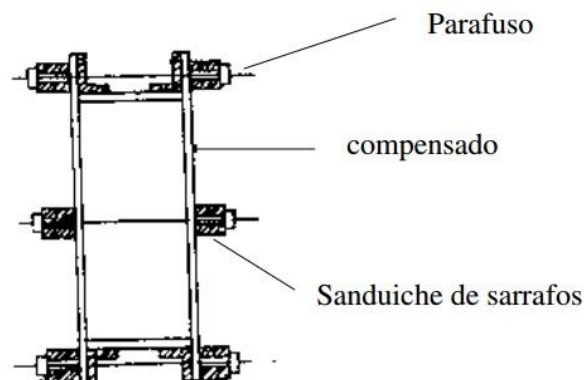
Fonte: Do Autor

2. 4 SISTEMA CONSTRUTIVO

Um dos fatores de influência para a melhor execução é a técnica executiva.

A obra estudada utiliza formas de chapas de compensado para a execução dos pilares, com as gravatas de madeira e barras metálicas para assegurar a integridade das formas e do próprio pilar, conforme figura 06.

Figura 06: Travamento com parafuso.



Fonte: GOMES 2006 (apud KEULBECK, 2007)

Entre as formas é colocada uma mangueira lisa no menor sentido do pilar para que o parafuso usado para no contraventamento não seja fundido com o próprio pilar, podendo assim ser reutilizados (figura 07).

O escoramento do pilar se dá por meio de escoras metálicas, garantindo que o pilar não se mova durante seu processo de concretagem.

Figura 07: Formas.

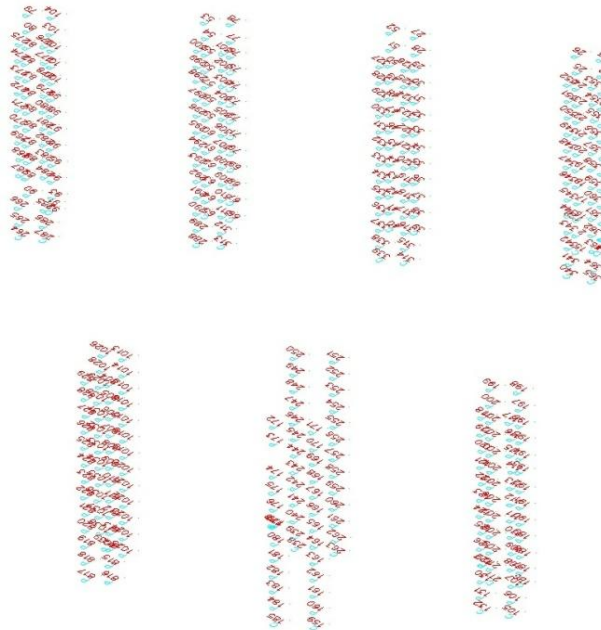


Fonte: Do Autor

3. ANÁLISE COMPUTACIONAL

Após a extração de todos os pontos dados pela estação total obtêm-se uma nuvem de pontos (Figura 08), contendo os vértices de todos os pilares.

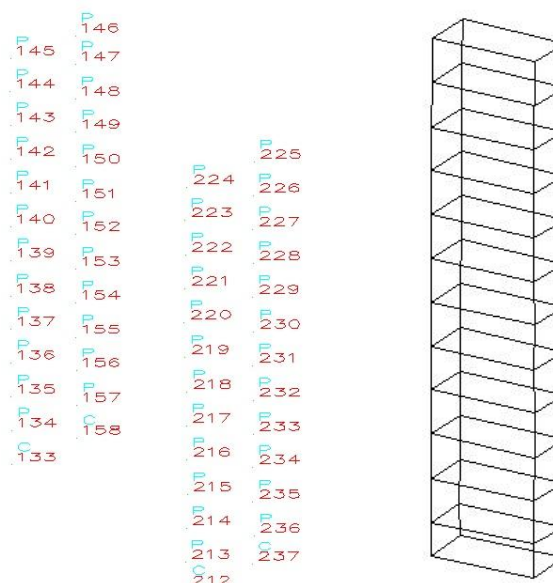
Figura 08: Nuvem de pontos de todos os pilares.



Fonte: Do Autor

Com a união desses pontos consegue-se modelar cada pilar separadamente podendo então mensurar com precisão a distância de cada face e sua área de sessão (Figura 09).

Figura 09: Pilares.



Fonte: Do Autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o levantamento em campo com a utilização de uma ferramenta computacional AutoCAD obteve-se os pilares estudados. O AutoCAD é um software do tipo CAD - computer aided design ou desenho auxiliado por computador - é utilizado principalmente para a elaboração de peças de desenho técnico.

A empresa onde foi realizada a pesquisa demonstra ser uma empresa de alto padrão pelos cuidados tomados no seu processo construtivo, o que pode ser um diferencial quando comparado a outras empresas, podendo ser essa uma influencia direta para a qualidade dos pilares.

Em sequência os dados coletados em AutoCAD foram exportados para uma tabela e analisada a seção de cada face do pilar de acordo com a Tabela 03.

Para comparativo entre as seções adotamos somente as seções com 25 x 50 cm, com um total de 10 pilares, sendo para cada pilar, tomadas treze medidas com intervalo de 20 cm.

Analisando os 10 pilares de mesma seção de projeto (25 x 50 cm) obteve-se uma média de cada face como demonstra a tabela 03.

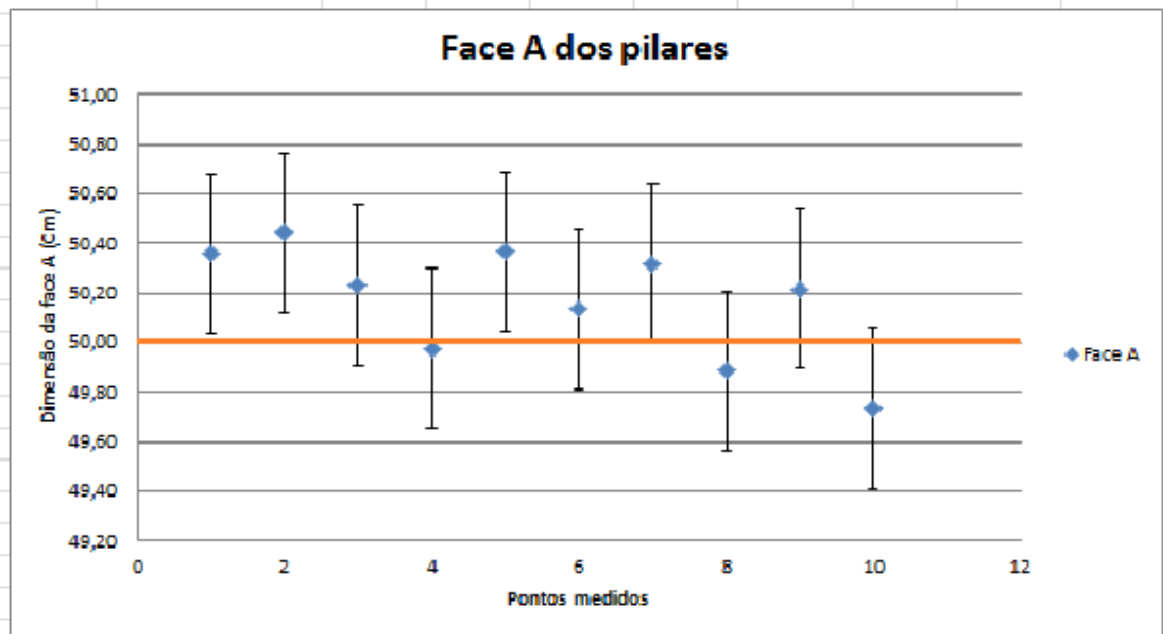
Tabela 03 – Comparativo das médias dos pilares com seção de 25x50cm de projeto em relação ao executado.

Nº de pilares	PILARES		50,00 (cm)	25,00 (cm)	1250,00 (cm ²)
	Média da Face A (cm)	Média da Face B (cm)	Média da Face C (cm)	Média da Face D (cm)	Média das áreas
1	50,36	25,20	50,39	25,03	1265,21
2	50,44	25,19	50,27	25,28	1270,75
3	50,23	25,35	50,46	25,02	1268,01
4	49,98	25,23	49,83	24,92	1251,17
5	50,37	24,88	50,14	25,12	1256,28
6	50,13	25,34	50,36	25,2	1269,64
7	50,32	25,36	49,95	25,19	1267,35
8	49,89	25,24	49,92	25,24	1259,61
9	50,22	25,39	50,24	25,15	1269,27
10	49,73	24,68	49,75	24,77	1229,94
Média	50,17 ± 0,32	25,18 ± 0,27	50,13 ± 0,33	35,09 ± 0,27	1260,72 ± 2,55

Fonte: Do Autor

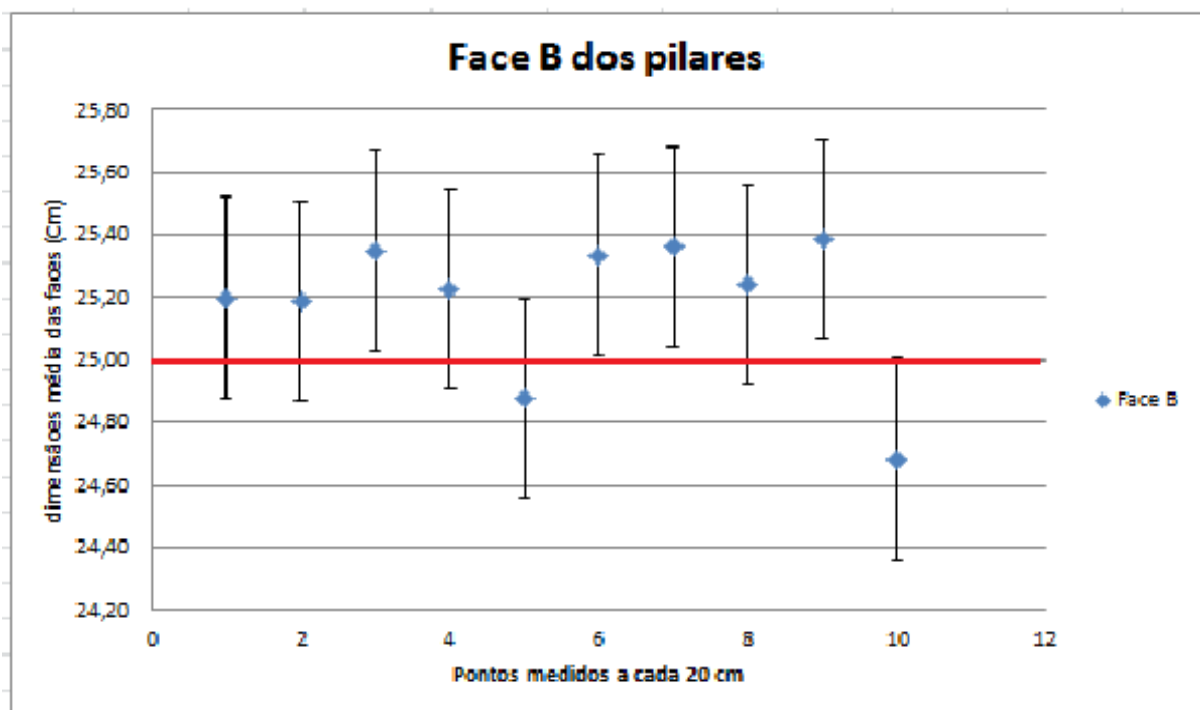
De acordo com a Tabela 03, acima chegamos aos gráficos apresentados abaixo nas Figuras 10, 11, 12 e 13.

Figura 10: Médias dos pontos obtidos para face A dos pilares



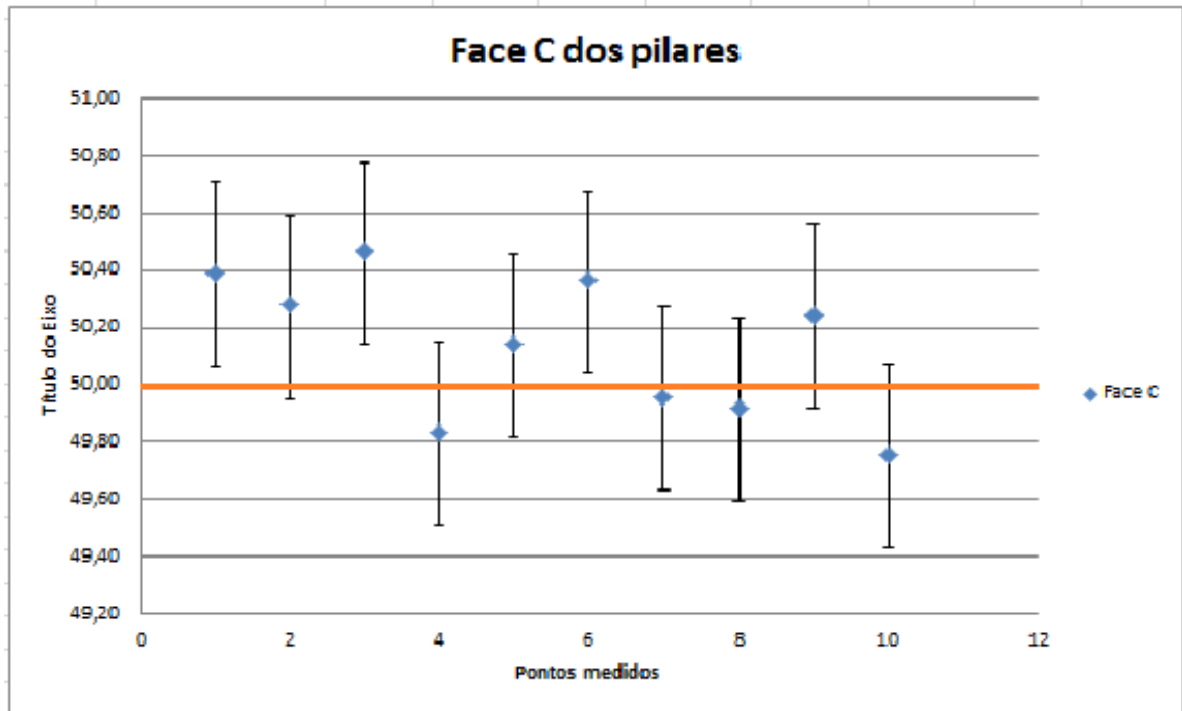
Fonte: Do Autor

Figura 11: Médias dos pontos obtidos para face B dos pilares



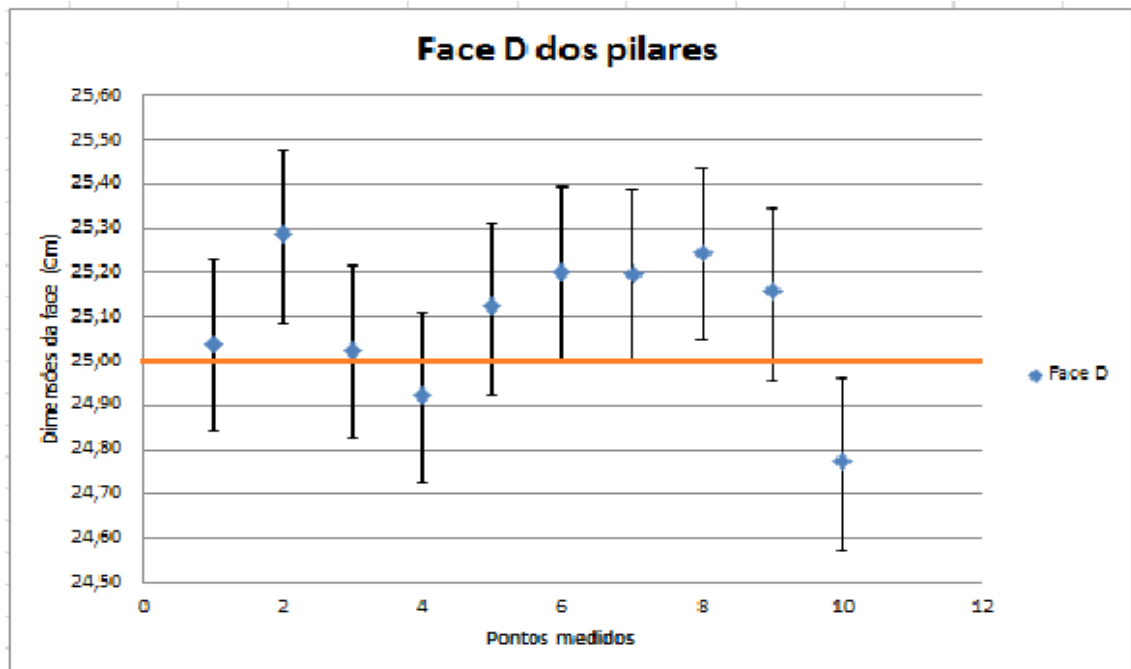
Fonte: Do Autor

Figura 12: Médias dos pontos obtidos para face C dos pilares



Fonte: Do Autor

Figura 13: Médias dos pontos obtidos para face D dos pilares



Fonte: Do Autor

As figuras 10 e 12, representam os pontos determinados para face dos pilares com 50 cm, onde os pontos determinados *in-loco* não apresentaram valores abaixo

dos especificados em projeto, e, apresentaram 65% dos pontos medidos superiores ao projetado e 35% abaixo, no entanto, ficando todos dentro do intervalo de confiança de 95% adotados.

Para as Figuras 11 e 13, a face analisada foi de 25 cm, neste caso para face B 80% dos pontos ficaram acima das medidas de projeto e 20% abaixo, no entanto cumprindo também com o intervalo de confiança adotado. Para face D 80% dos pontos ficaram acima da medida de projeto, mas cumprindo com o nível de confiança ocorrendo apenas um ponto que ficou abaixo da medida de projeto, o que pode ser desconsiderado uma vez que ficou muito próximo das medidas necessária determinadas em projeto.

Com um grau de confiança de 95% pode-se afirmar que a seção média do pilar de 50 cm de projeto se encontra entre 50,04 e 50,25 cm e para o pilar de 25 cm de projeto se encontra entre 25,05 e 25,23 cm.

Pode-se ainda mostrar o quanto o erro representa proporcionalmente em função do seu comprimento (Tabela 04).

Tabela 04 – Erro médio proporcional

Média das Faces	Média da Face A (cm)	Média da Face B (cm)	Média da Face C (cm)	Média da Face D (cm)	Média das áreas (cm ²)
Media	50,17	25,18	50,13	25,09	1260,72
Erro	0,17	0,18	0,13	0,09	10,72
Erro médio Proporcional	0,33%	0,74%	0,26%	0,37%	0,86%

Fonte: Do Autor

Conforme o apresentado na Tabela 4, pode-se confirmar a insignificância dos erros já apresentados nas figuras 10,11,12,13. Sendo estes erros muito pequenos em relação ao projetado, apontando erro médio proporcional abaixo de 1,0%.

Com um grau de confiança de 95% pode-se afirmar que o erro médio em todos os pilares estudados se encontra entre 0,20 e 0,26 cm.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo apontou pequenos desvios ao que foi projetado. Os erros encontrados foram mínimos, podendo assim, serem desprezados, não foi necessário calcular o índice de esbeltez uma vez que não foi apresentada diferença de medidas nas faces, sendo insignificantes para tal cálculo. Para tal conclusão, deve-se levar em consideração o padrão da obra e de seu sistema construtivo. A empresa onde foi realizada a pesquisa demonstra ser uma empresa de alto padrão pelos cuidados tomados em seu método construtivo, sendo este um diferencial importante nas construções em geral, podendo ser essa uma influência direta para a qualidade dos pilares. Como a NBR 6118/2007 não trata sobre não conformidades de execução, cujo problema pode ser muito diferente para cada obra, provoca uma grande dificuldade em gerar uma padronização. É interessante aplicar essa metodologia em outras obras de alto, médio e baixo padrão e de empresas diferentes, para comparação dos dados encontrados, e análise do índice de esbeltez caso os valores encontrados sejam relevantes.

6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, JOSÉ MILTON DE. **Curso de concreto armado**. Rio Grande: Dunas, 2010. v.3, 3.ed.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento Imperfeições geométricas: NBR 8681**. Rio de Janeiro, 2004.

CAMPOS FILHO, AMÉRICO. **Projeto de Pilares de Concreto Armado**. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2011.

KEULBECK, Cassiano Maciel. **Principais sistemas de fôrmas para concreto moldado in loco**. Joinvile: UDESC, 2007.

MELGES, José Luiz Pinheiro. **Dimensionamento de pilares segundo a NBR6118:2003**. São Paulo: UNESP, 2007

PINHEIRO, Libânio M; SCADELAI Murilo A. **Estruturas de Concreto**. São Paulo: USP, 2003.

ZANETTE, Samuel Giassi. **Análise experimental da capacidade mecânica de vigas de concreto armado comparadas a vigas de concreto protendido com a mesma seção e armaduras equivalentes**. Criciúma: UNESC, 2011.