

Análise da influencia da resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) no dimensionamento estrutural de um edifício residencial em concreto armado

(1) João Nazireu Dombasi Bernardo, (2) Alexandre Vargas
UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)joao12dombaxi@hotmail.com, (2)alexandrevargas@unesc.net

Resumo

A resistência característica à compressão (f_{ck}) do concreto é um dos parâmetros de maior relevância no dimensionamento de estruturas em concreto armado, pois seu valor influencia no desempenho, bem como no custo da estrutura. A finalidade do presente artigo é avaliar o impacto técnico e econômico da resistência característica à compressão (f_{ck}) no dimensionamento de um edifício residencial de 17 pavimentos em concreto armado. Com auxílio do programa computacional CYPECAD, fez-se o lançamento estrutural, aplicaram-se os carregamentos estabelecidos pela norma NBR 6120:2003 e procedeu-se o cálculo estrutural com valores de f_{ck} distintos (20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa e 50 MPa).

A análise dos resultados das deformações da estrutura mostra uma redução na deformação de 36,81%, quando a estrutura é calculada com f_{ck} igual a 50 MPa, em relação à estrutura calculada com f_{ck} igual a 20 MPa. Fazendo uma análise do custo global da estrutura em função da influencia do f_{ck} , observa-se que a maior economia obtem-se quando a estrutura é calculada com f_{ck} igual a 30 MPa ou 35 MPa, (redução de custo de 4% em relação à estrutura calculada com f_{ck} igual a 20 MPa). Com isso, concluí-se que, nas condições do mercado da região e para o modelo adotado, torna-se viável economicamente, dimensionar edifícios residenciais com f_{ck} igual 30 MPa e f_{ck} igual 35 MPa.

Palavras-Chave: Dimensionamento, Estrutura em concreto armado, Resistência característica à compressão (f_{ck}).

1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, o mercado da construção civil está cada vez mais competitivo, a margem de lucro esta cada vez mais estreita e o consumidor mais exigente, deixando projetistas e construtores com o desafio de reduzir custos sem deixar de lado a qualidade e a segurança das obras.

No campo do dimensionamento e concepção das estruturas usuais em concreto armado a determinação da resistência característica à compressão do



concreto (f_{ck}) é de suma importância, pois influencia no desempenho, vida útil, além de ser parcela significativa na composição do custo final do empreendimento.

Para a escolha da resistência característica à compressão o projetista estrutural deve considerar vários aspectos tais como: condições de agressividade do microclima; confiabilidade dos fornecedores de concreto da região; tempo de execução da obra; procedimentos corretos no canteiro de obra, além do custo. De fato o f_{ck} é um dos parâmetros de maior referência no dimensionamento de estruturas em concreto armado. Na prática, o projetista de estruturas especifica um valor de f_{ck} e este é usado no cálculo. Cabe ao construtor fabricar (concreto feito em obra) ou comprar um concreto com as características especificadas em projeto.

A NBR 6118:2003 (item 8.2.1) faz uma abordagem sobre a classe de concreto I determinando que as estruturas em concreto armado devem ser projetadas e construídas com concreto C20 ($f_{ck}= 20$ MPa) ou superior, ficando o concreto C15 só para as estruturas de fundações e de obras provisórias.

O presente artigo tem como objetivo estudar a opção dentre os concretos da classe I que melhor atende os aspectos econômicos e técnicos no dimensionamento de um edifício residencial de 17 pavimentos em concreto armado, a ser construído na região de Criciúma - SC. Para atingir o objetivo proposto utilizou-se uma ferramenta computacional (*software*) de cálculo estrutural, fez-se o lançamento e o dimensionamento dos elementos estruturais no programa CYPECAD, com o mesmo sistema estrutural nomeou-se os valores de resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) em 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa, 50 MPa, analisando desta forma a influência destes diferentes valores nas deformações dos elementos estruturais no consumo de aço e no custo global da estrutura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo escolhido foi um projeto arquitetônico de um edifício residencial e comercial de padrão construtivo normal, com as seguintes características: 14646,84 m² de área construída; 705,88 m² de área de pavimento tipo; 17 pavimentos constituídos por térreo, garagem 1, garagem 2, tipo(14x); 98 apartamentos, um salão de festas, 99 boxes, salão de jogos e 6 lojas.



Figura. 1-Edifício residencial e comercial-modelo de estudo

Para modelar e efetuar o cálculo estrutural foi usado o *software* CYPECAD versão 2010. I.

As sobrecargas utilizadas obedeceram a NBR 6120:1980 e as cargas permanentes foram estimadas em função do carregamento de cada pavimento.

Tabela 1- Ações consideradas no dimensionamento

Pavimento	Sobrecarga de utilização (S.C.U) (KN/m ²)	C. Permanente (KN/m ²)
Teto reservatório	0,5	1,5
Fundo do reservatório	0,5	33,3
Barrilete	0,5	1,5
Motor	1,5	20,0
Cobertura	0,5	1,5
Pavimento tipo	2,0	1,2
Estacionamento	3,0	1,2
Rampa	3,0	1,2
Térreo	3,0	1,2



Em função das condições topográficas do terreno, das dimensões do empreendimento e obedecendo a NBR 2123:1988, adotou-se como velocidade básica do vento 45 km/h, rugosidade VI e classe B. Para o dimensionamento da estrutura utilizou-se aço CA-50 e CA-60.

A estrutura foi concebida, levando em conta alguns critérios pré estabelecidos tais como: distância dos pilares entre 2,5m a 6 m; menor dimensão de pilares 20 cm; as vigas foram posicionadas onde existem paredes, evitando assim que fiquem aparentes, exceto na cobertura do último pavimento; as alturas das vigas foram

compatibilizadas pensando na modulação das alvenarias e altura de portas e janelas, estabelecendo alturas iguais ou inferiores a 60 cm, exceto em vãos onde não houvesse interferências.

Terminado o lançamento da estrutura no programa CYPECAD, fez-se o cálculo estrutural. O *software* apontou todos os elementos estruturais com erros de dimensionamento. Corrigiram-se todos os erros alterando as seções de vigas, pilares e espessura de lajes e voltou-se a calcular a estrutura. Este processo iterativo terminou com a eliminação de todos os erros de dimensionamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O cálculo estrutural do edifício em estudo com concretos de resistências características à compressão de 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa e 50 MPa (as seções de pilares retangulares, vigas retangulares e espessura de lajes constante), geraram deformações, volumes de concreto e quantidades de aço apresentados nos item que se segue.

3.1 ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES

Foram avaliadas as variações das deformações da laje do pavimento tipo em função da variação do f_{ck} (fig. 1, 2, 3,4 e 5).

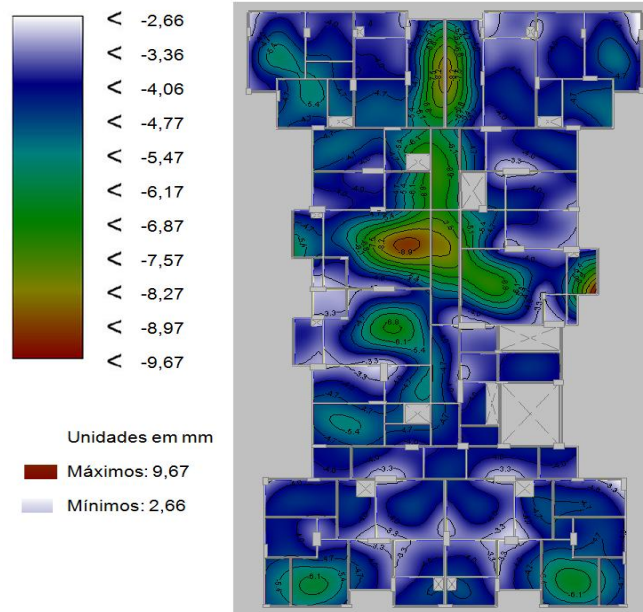


Fig. 2 Deformação da laje maciça do pavimento tipo da estrutura calculada com $f_{ck}=20$ MPa

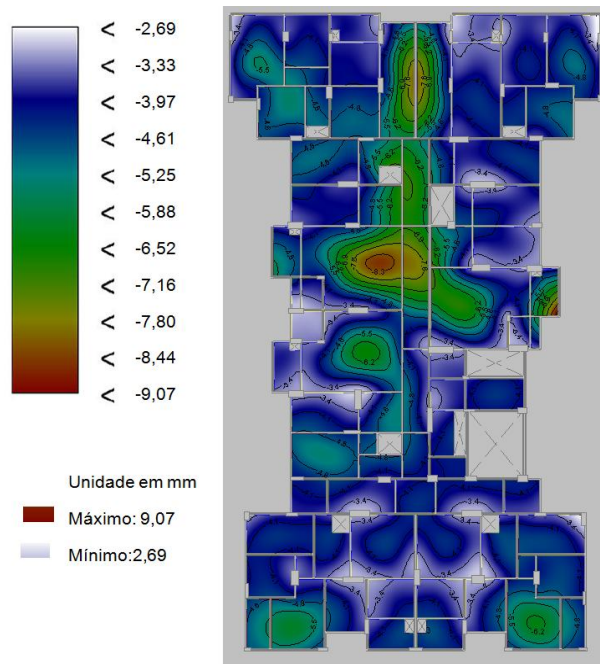


Fig. 3 Deformação da laje maciça do pavimento tipo da estrutura calculada com $f_{ck}=25$ MPa

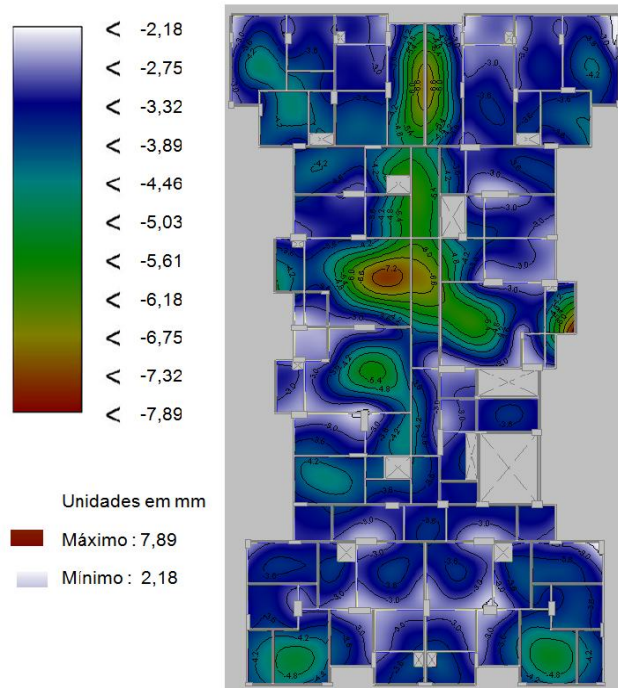


Fig. 4 Deformação da laje maciça do pavimento tipo da estrutura calculada com $f_{ck}=30$ MPa

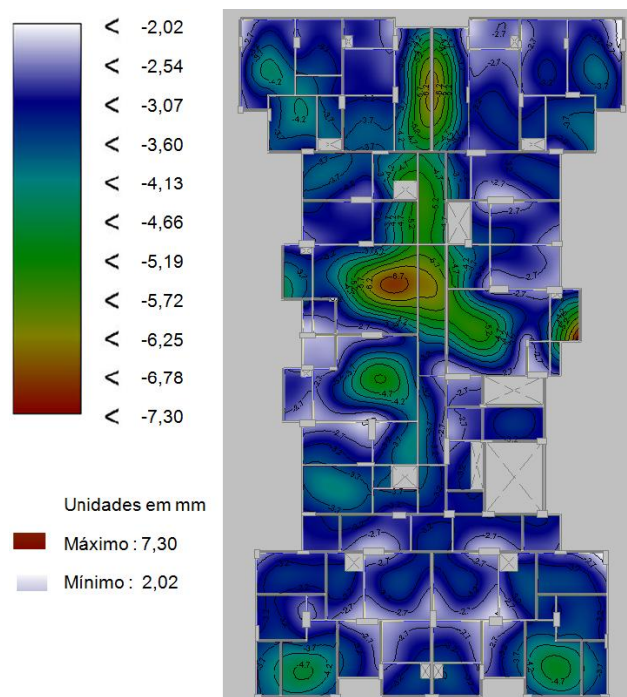


Fig. 5 Deformação da laje maciça do pavimento tipo da estrutura calculada com $f_{ck}=35$ MPa

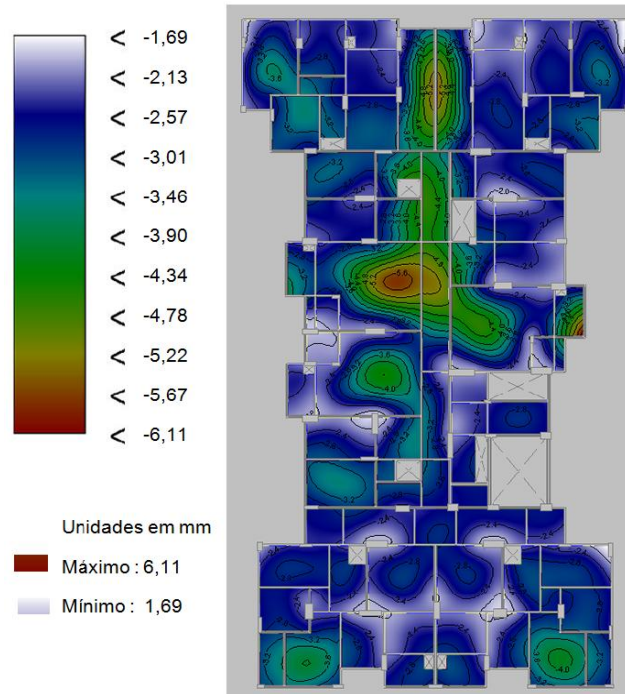


Fig. 6 Deformação da laje maciça do pavimento tipo da estrutura calculada com $f_{ck}=50$ MPa

A partir dos isovalores, pode se construir o gráfico comparativo das deformações geradas em função do f_{ck} . (Fig. 6)

Considerou-se a deformação gerada na estrutura calculada com f_{ck} igual a 20 MPa 100%.

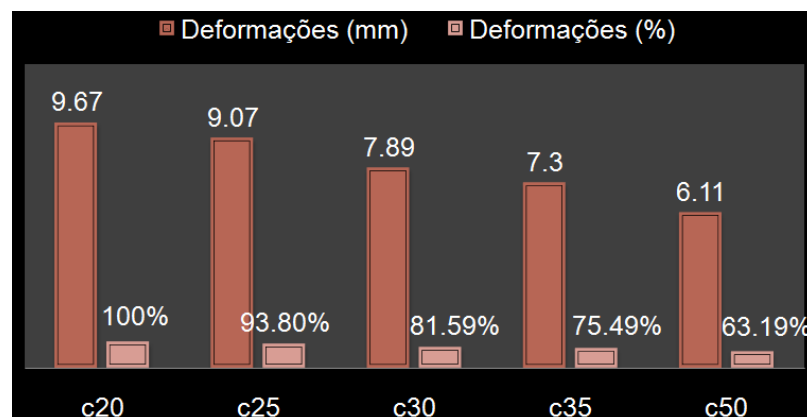


Fig. 7. Redução das deformações em porcentagem da estrutura com aumento do f_{ck}

Observando o gráfico da figura 7 observa-se uma redução na deformação de 6,20% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 25 MPa, 18,41% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 30 MPa, 24,51% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 35 MPa e

36,81% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 50 MPa. Os resultados mostram que com aumento do valor do f_{ck} reduz o valor das deformações da estrutura.

A NBR 6118 no item 8.2.8 estipula que o módulo de elasticidade secante a ser utilizado na análise elástica de projeto, especialmente para determinar os esforços solicitantes e verificar os estados limites de serviço deve ser calculado pela expressão:

$$E_{cs}=0,85 \cdot E_{ci} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

E_{cs} : Módulo de elasticidade secante

E_{ci} : Módulo de elasticidade inicial

Apartir da relação:

$$E_{ci}=5600 \cdot f_{ck}^{(1/2)} \quad \text{Equação (2)}$$

a expressão $E_{cs}=0,85 \cdot E_{ci}$ toma a forma :

$$E_{cs}=4760 \cdot f_{ck}^{(1/2)} \quad \text{Equação (3)}$$

Com esta expressão pode se confirmar que quanto maior for a resistência do concreto maior é o módulo de elasticidade e quanto maior for o módulo de elasticidade menor é a deformação do concreto. Fato que justifica a menor deformação para o concreto de maior f_{ck} .

3.2. ANÁLISE DE CONSUMO DE AÇO E CONCRETO.

Para a composição de custos foi realizada uma pesquisa de preços em construtoras e fornecedoras da região de Criciúma/Sc que atuam no mercado da construção civil. Esta pesquisa foi elaborada no mês de maio de 2011.

Na tabela 2 estão representadas as quantidades (aço e concreto) em função dos valores de f_{ck} e seus respectivos custos em reais.

a) Estrutura calculada com $f_{ck}=20$ MPa

Tabela 2- Custo do concreto e do aço na estrutura calculada com $f_{ck}=20$ MPa

Elemento estrutural	Concreto convencional dosado em central			Aço		
	Quantidade (m ³)	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)	Quantidade (Kg)	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pilares	782,19	225,00	175.992,75	76503	13,19	100.9074,57
Vigas	734,69	225,00	165.305,25	66447	13,19	876.435,93
Lajes	1286,85	225,00	289.541,25	110590	13,19	145.8682,10
Total	2803,73		630.839,25	253540		3.344.192,60
Indice	0.206m ³ /m ²			18.66 kg/m ²		

b) Estrutura calculada com $f_{ck}=25$ MPa

Tabela 3- Custo do concreto e do aço na estrutura calculada com $f_{ck}=25$ MPa

Elemento estrutural	Concreto convencional dosado em central			Aço		
	Quantidade (m ³)	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)	Quantidade (Kg)	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pilares	782,19	235,00	183.814,65	69244	13,19	913.328,36
Vigas	734,69	235,00	172.652,15	64483	13,19	850.530,77
Lajes	1286,85	235,00	302.409,75	108254	13,19	142.7870,26
Total	2803,73		658.876,55	241981		3.191.729,39
Indice	0,206m ³ /m ²			17,81 kg/m ²		

c) Estrutura calculada com $f_{ck}=30$ MPa

Tabela 4- Custo do concreto e do aço na estrutura calculada com $f_{ck}=30$ MPa

Elemento estrutural	Concreto convencional dosado em central			Aço		
	Quantidade (m ³)	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)	Quantidade (Kg)	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pilares	782,19	245,00	191.636,55	66114	13,19	872.043,66
Vigas	734,69	245,00	179.999,05	63339	13,19	835.441,41
Lajes	1286,85	245,00	315.278,25	107365	13,19	141.6144,35
Total	2803,73		686.913,85	236818		3.123.629,42
Indice	0,206m ³ /m ²			17,43 kg/m ²		

d) Estrutura calculada com $f_{ck}=35$ MPa

Tabela 5- Custo do concreto e do aço na estrutura calculada com $f_{ck}=35$ MPa

Elemento estrutural	Concreto convencional dosado em central			Aço		
	Quantidade (m ³)	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)	Quantidade (Kg)	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pilares	782,19	255,00	199.458,45	64258	13,19	847.563,02
Vigas	734,69	255,00	187.345,95	64391	13,19	849.317,29
Lajes	1286,85	255,00	328.146,75	107247	13,19	1.414.587,93
Total	2803,73		714.951,15	235896		3.111.468,24
Indice	0,206m ³ /m ²			17,36 kg/m ²		

e) Estrutura calculada com $f_{ck}=50$ MPa

Tabela 6- Custo do concreto e do aço na estrutura calculada com $f_{ck}=50$ MPa

Elemento estrutural	Concreto convencional dosado em central			Aço		
	Quantidade (m ³)	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)	Quantidade (Kg)	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pilares	782,19			62529	13,19	824.757,51
Vigas	734,69			65738	13,19	867.084,22
Lajes	1286,85			109234	13,19	1.440.796,46
Total	2803,73			237501		3.132.638,19
Indice	0,206m ³ /m ²			17,48 kg/m ²		

3.2.1 Análise comparativa do consumo de aço da estrutura em função do f_{ck} por elemento estrutural.

Apartir dos dados fornecidos pelas tabelas fez-se os comparativos dos consumos de concreto por elemento nas figuras 10 e 11.

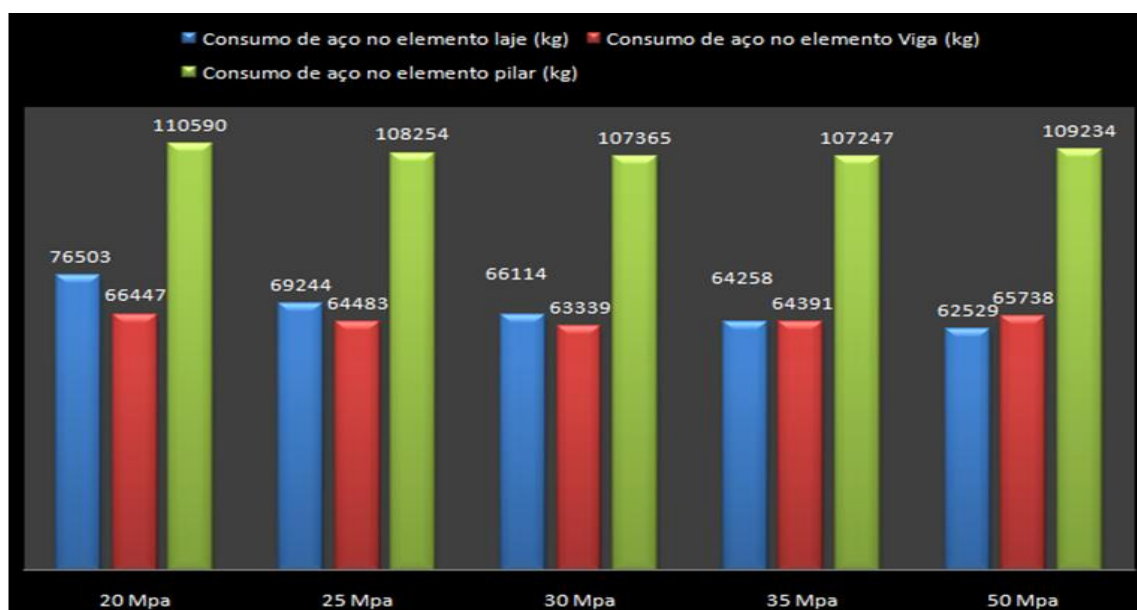


Figura 10. Comparativo de consumo do aço por elemento estrutural em função do aumento do f_{ck}

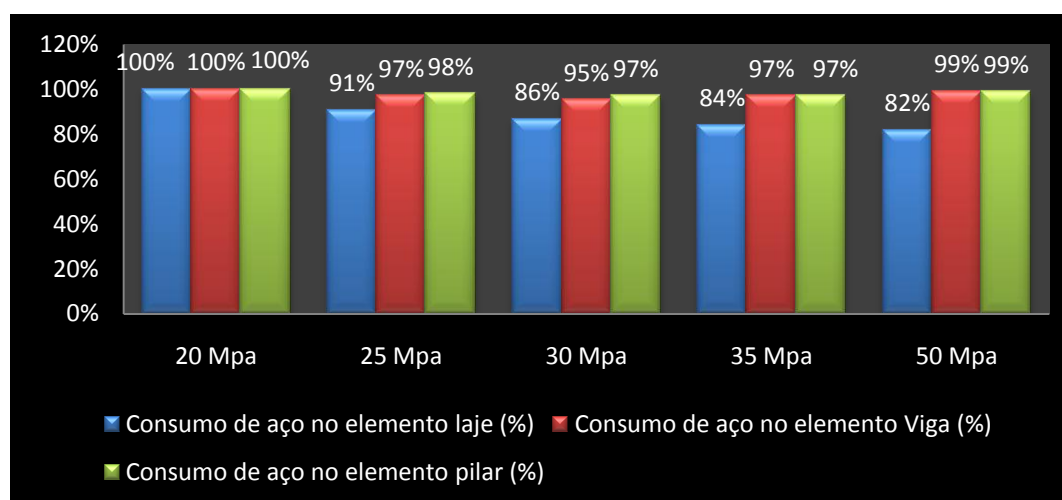


Figura 11. Comparativo de consumo do aço por elemento estrutural em função do aumento do f_{ck} em percentagem



a) Consumo de aço do elemento estrutural laje;

Para o elemento estrutural laje, a partir das tabelas e gráficos acima, considerando 100% o consumo de aço da estrutura calculada com f_{ck} igual 20 MPa, verificou-se uma redução de 9% para estrutura calculada com 25 MPa, 14% para a estrutura calculada com 30 MPa, 16% para estrutura calculada com 35 MPa, e 18% para estrutura calculada com 50 MPa. O que permite afirmar que o aumento de f_{ck} reduz a quantidade de armadura.

b) Consumo de aço do elemento estrutural viga;

Considerando 100% o consumo de aço para estrutura calculada com f_{ck} de 20 MPa, houve uma redução de 3% para estrutura calculada com 25 MPa, 5% para a estrutura calculada com 30 MPa, 3% para estrutura calculada com 35 MPa e 1% para estrutura calculada com 50 MPa.

Na análise da variação do consumo de aço em função da variação do f_{ck} , observou-se um acréscimo de consumo para f_{ck} maior que 35 MPa, este fato ocorre devido à prescrição da NBR 6118 quanto às taxas de armadura mínimas, que estabelece na tabela 17.3 taxas maiores para concreto com f_{ck} maiores que 35 MPa.

c) Consumo de aço do elemento estrutural pilar.

Considerando 100% o consumo de aço para estrutura calculada com f_{ck} igual a 20 MPa, observou-se reduções de 2% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 25 MPa, 3% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 30 MPa e 35 MPa, 2% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 50 MPa.

3.2.2 Análise comparativa do consumo de aço da estrutura global em função do f_{ck} .

Apartir dos dados das tabelas(2,3,4,5,6) foi feito um comparativo dos custos globais da estrutura em função do f_{ck} conforme representado no grafico da figura 12.

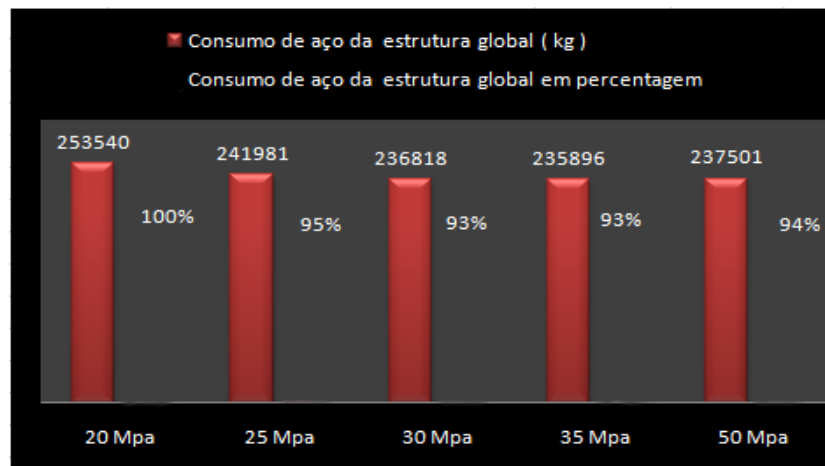


Figura 12. Comparativo de consumo do aço por da estrutura global em função do f_{ck} .

Considerando o consumo de aço de 100% para a estrutura calculada com f_{ck} igual a 20 MPa, observou-se uma redução no consumo da quantidade de aço de 5% para a estrutura calculada com f_{ck} igual 25MPa, 7% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 30MPa, 8% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 35MPa e 6% para a estrutura calculada com f_{ck} igual a 50 MPa.

3.2.3 Análise comparativa do custo do concreto em função do f_{ck}

A partir dos dados das tabelas (2,3,4,5,6) foi feito um comparativo dos custos do concreto em função do f_{ck} , conforme representado no gráfico da figura 13.

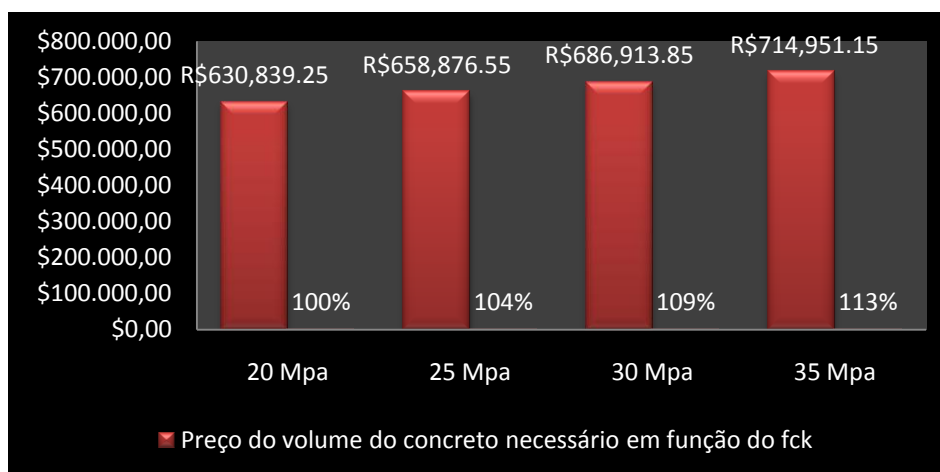


Figura 13. Comparativo de consumo do concreto da estrutura global em função do f_{ck}

Em virtude de se ter calculado a estrutura variando os valores de f_{ck} e mantendo constante as seções de pilares, vigas e espessura das lajes, a quantidade de concreto manteve-se invariável. No entanto o custo aumentou em função do aumento do f_{ck} .

Com isso, considerando o custo de 100% para a estrutura calculada com f_{ck} igual a 20 MPa, houve um aumento no custo do concreto de 4% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 25MPa, 9 % para estrutura calculada com f_{ck} igual a 30 MPa e 13% para estrutura calculada com f_{ck} igual 35MPa.

Não foi incluído o concreto com f_{ck} igual a 50 MPa, isto porque sua comercialização ainda não é corrente para obras usuais na região.

3.2.4 Análise comparativa do custo global da estrutura em função do f_{ck}

A partir dos dados das tabelas (2,3,4,5,6) foi feito um comparativo dos custos globais da estrutura em função do f_{ck} conforme representado no grafico da figura 14.



Figura 14. Comparativo do custo global da estrutura em função da variação do f_{ck}

Ao se analisar o custo global da estrutura, considerando 100% o custo do edifício calculado com f_{ck} igual a 20 MPa, observou-se uma redução de custo de 3% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 25 MPa, 4% para estrutura calculada com f_{ck} igual a 30 MPa e 35 MPa.

4. CONCLUSÕES

As conclusões apresentadas neste estudo , referem-se, exclusivamente ao projeto arquitetônico modelo. No entanto, como esse projeto é uma amostra representativa dos edifícios construídos na região, os resultados obtidos podem servir de parâmetro para estudos mais aprofundados.

As análises das deformações demonstram que, quanto maior o valor do f_{ck} menor a deformação. Com isso a estrutura com f_{ck} igual a 50 MPa teve maior desempenho.

Ao analisar o custo global , percebe-se que nas condições atuais do mercado da construção civil na região, a estrutura dimensionada com f_{ck} igual a 30 MPa é a mais econômica, com um custo de R\$ 3,810.543,27. Este valor comparado com o



valor da estrutura calculada com f_{ck} igual a 20 MPa é 4% menor, se for comparado com o valor resultante do cálculo da estrutura com f_{ck} igual a 25 MPa é 1% menor.

O custo referente ao cálculo da estrutura com f_{ck} igual a 30MPa e 35 MPa são praticamente iguais.

O presente artigo não analisa outros fatores importantes no custo global da estrutura, tais como: custo do sistema de fundações, mão de obra, sistema de vedação, escoramentos e encargos indiretos. Recomenda-se que em estudos posteriores sejam feitas considerações a respeito destes fatores, visto que têm um impacto considerável no custo final da obra.

5. REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações – Procedimento**: NBR 6120. São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças devidas ao vento nas edificações**: NBR 6120. São Paulo, 1988.

MULTIPLUS. **Curso Prático Interativo**. São Paulo, 2010



Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC -
como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil

