

ESTUDO DA VARIAÇÃO DO f_{ck} EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO

BRUNO MILAN MARTINI¹, LUIZ FERNANDO MURARI MATTIELO², RONALD SAVOI DE SENNA JUNIOR³

¹ Graduando em Engenharia Civil, UNIFAE, Câmpus São João da Boa Vista, milanmartini@gmail.com

² Graduando em Engenharia Civil, UNIFAE, Câmpus São João da Boa Vista, lfmattielo@gmail.com

³ Prof. Mestre em Engenharia Civil, UNIFAE, Câmpus São João da Boa Vista, savoi@uol.com.br

Apresentado no

10º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP ou no 4º Congresso de Pós-Graduação do IFSP

27 e 28 de novembro de 2019- Sorocaba-SP, Brasil

RESUMO: O f_{ck} (resistência característica à compressão do concreto) é de extrema importância na determinação do dimensionamento estrutural, influenciando tanto na resistência e durabilidade, quanto no custo final da estrutura. O intuito desta pesquisa é a avaliação das possíveis variações do f_{ck} em um edifício de onze pavimentos, em concreto armado, até que seja encontrado o valor ótimo, considerando os valores do concreto e do aço. Utilizando o software TQS, foi realizada a leitura estrutural, aplicando a norma NBR-6118:2014, e executou-se o cálculo com diferentes valores de f_{ck} (25MPa, 30MPa, 35MPa, 40MPa) para vigas e pilares, utilizando oito combinações diferentes, sem alteração da seção dos elementos em evidência. A análise dos resultados mostrou que utilizando a combinação do f_{ck} de 40MPa nos pilares, e 25MPa nas vigas, foi possível reduzir o consumo de aço em 3.011,7kg, em relação ao convencional (25MPa tanto em vigas como em pilares), ocasionando uma significativa redução no custo total da estrutura sem que houvesse diminuição na resistência da estrutura. Concluiu-se que, para o modelo adotado, é economicamente vantajoso dimensionar os pilares e as vigas do edifício com f_{ck} de 40MPa e f_{ck} de 25MPa respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: fck; concreto armado; consumo de aço; consumo de concreto; construção civil; cálculo estrutural.

STUDY OF FCK VARIATION IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS.

ABSTRACT: The fck (feature compression know) is extremely important in determining structural sizing, influencing both strength and durability as well as the final cost of the structure. The aim of this research is to evaluate the possible variations of the fck in a building of eleven floors, in reinforced concrete, until the optimum value is found, considering the values of concrete and steel. Using the TQS software, the structural reading was performed, applying the standard NBR-6118:2014, and the calculation was performed with different values of fck (25MPa, 30MPa, 35MPa, 40MPa) for beams and pillars, using eight different combinations, without alteration of section of the elements in evidence. The analysis of the results showed that using the combination of the 40MPa fck in the pillars, and 25MPa in the beams, it was possible to reduce the consumption of steel in 3.011,7kg, in relation to the conventional (25MPa both in beams and in pillars), causing a significant reduction in total cost of the structure without decreasing the structure's resistance. It was concluded that, for the model adopted, it is economically advantageous to scale the pillars and beams of the building with fck of 40MPa and fck of 25MPa respectively.

KEYWORDS: fck; reinforced concrete; steel consumption; concrete consumption; construction; structural calculation.

INTRODUÇÃO

O termo " f_{ck} ", que tem por significado traduzido do inglês "Resistência Característica do Concreto à Compressão", é de extrema importância na resistência, desempenho e durabilidade do concreto, além de afetar de forma bastante expressiva o custo final da obra. Os concretos para fins estruturais são classificados nos grupos I e II pela NBR 8953:2015, definidos pela resistência característica à compressão. Sendo eles:

Grupo I: C20, C25, C30, C35, C40, C45, C50.

Grupo II: C55, C60, C70, C80, C90, C100.

O número contido em seu nome representa a sua resistência característica à compressão (f_{ck}), exemplo: Concreto C20 ($f_{ck} = 20\text{MPa}$). A resistência característica à compressão do concreto se sujeita a uma série de fatores, como: quantidade e qualidade do cimento, relação água/cimento/agregados, mistura e dosagem, traço, concretagem, compactação, secagem e cura.

Este trabalho analisa de um ponto de vista econômico, as diferenças que ocorrem no dimensionamento quantitativo dos materiais a serem utilizados, a partir da variação do f_{ck} , atingindo assim o melhor valor possível, sem que haja diminuição na resistência do conjunto exigida pelo projeto, com foco em comparar algumas opções de concretos presentes no grupo I, de forma que melhor atenda os pormenores técnicos e econômicos no dimensionamento da estrutura apresentada, analisando assim a influência destes diferentes valores de f_{ck} no consumo de materiais, na relação: concreto e consumo de aço; e consequentemente no custo total da obra.

MATERIAL E MÉTODOS

A partir de uma planta arquitetônica selecionada, caracterizada como residencial e de padrão normal, com área de construída de $1674,10\text{m}^2$, possuindo onze pavimentos, foi realizado o lançamento estrutural com pré-dimensionamento das seções.

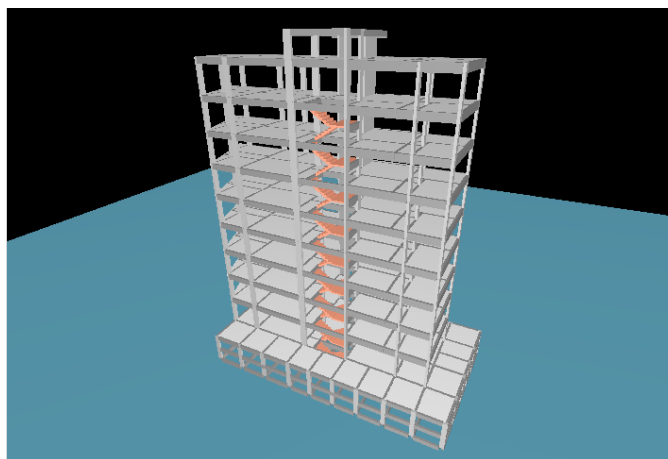


FIGURA 1. Modelo estrutural da edificação utilizada nos estudos.

FONTE: Autores (2019).

As simulações foram realizadas a partir de um lançamento estrutural fixo, sendo alteradas as resistências características das vigas e pilares, sem que houvesse alteração da seção dos mesmos. Foram avaliadas, a partir de seções padronizadas, as relações de consumo (aço e concreto).

Tais simulações contemplaram as variações da resistência característica do concreto à compressão, conforme tabela abaixo:

TABELA 1. Cálculos realizados para vigas e pilares.

Cálculo Estrutural	F_{ck}
Cálculo 01	C25 (25MPa) viga e pilar
Cálculo 02	C30 (30MPa) viga e pilar
Cálculo 03	C35 (35MPa) viga e pilar
Cálculo 04	C40 (40MPa) viga e pilar
Cálculo 05	C25 (25MPa) viga e C30 (30MPa) pilar

Cálculo 06	C25 (25MPa) viga e C40 (40MPa) pilar
Cálculo 07	C30 (30MPa) viga e C25 (25MPa) pilar
Cálculo 08	C30 (30MPa) viga e C40 (40MPa) pilar

FONTE: Autores (2019).

Para sua modelagem, a fim de obter as diferenças nos cálculos e dimensionamentos estruturais, foi utilizado o software CAD/TQS versão 21.3.69 ano 2019 (TQS, 2019). Foi adotada a classe de agressividade II com os seguintes cobrimentos, segundo a NBR 6118:2014.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

FIGURA 2. Tabela de classes de agressividade ambiental.

FONTE: NBR 6118:2014.

Em função do tipo de cada pavimento, foram estimadas as suas respectivas cargas permanentes, e suas sobrecargas, de acordo com a NBR 6120:1980. Conforme o terreno, sua topografia, localização e dimensões, seguindo os critérios da NBR 6123:1988, foi adotada a velocidade do vento em 35m/s, rugosidade III, e classe da edificação B. Para o dimensionamento estrutural que corresponde ao aço, foram utilizados os tipos CA-50 e CA-60, de diferentes diâmetros.

Para os valores de aço e concreto, foi realizada uma pesquisa em três diferentes revendedores na data de 16/04/2019, na região da cidade de São João da Boa Vista, São Paulo, e o valor utilizado nesta pesquisa é uma média de todos os valores cotados.

TABELA 2. Preço médio do concreto, por m³.

F _{ck}	Preço Médio (R\$)
25	R\$270,00
30	R\$280,00
35	R\$290,00
40	R\$320,00

FONTE: Autores (2019).

TABELA 03. Preço médio do aço, por barra.

Diâmetro (mm)	Massa Aprox. da Barra 12m (kg)	Preço Médio (R\$)
5.0	1,848	R\$8,40
6.3	2,940	R\$11,70
8.0	4,740	R\$19,85
10.0	7,404	R\$28,95
12.5	11,556	R\$47,05
16.0	18,936	R\$76,55
20.0	29,592	R\$121,00
25.0	46,236	R\$192,00

FONTE: Autores (2019). Dados sobre a massa, retirados da NBR 7480:2007, considerando tamanho comercial padrão da barra 12m.

Equações utilizadas para extração do valor em R\$, para bitolas de aço (1) e concreto (2):

$$\frac{CB}{MB} \times PM = VT$$

(1)

$$QC \times VC = VF$$

(2)

em que,

em que,

CB – consumo da bitola, kg;

QC – quantidade de concreto, m³;

MB – massa da barra, kg;

VC – preço médio por m³, R\$;

PM – preço médio da barra, R\$;

VF – valor total do concreto, R\$;

VT – valor total da bitola em questão, R\$;

Comparativo Consumo	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 03	Cálculo 04	Cálculo 05	Cálculo 06	Cálculo 07	Cálculo 08
Concreto (m³)	C25 = 352,90	C30 = 352,90	C35 = 352,90	C40 = 352,90	C25 = 277,50 C30 = 75,40	C25 = 277,50 C40 = 75,40	C30 = 277,50 C25 = 75,40	C30 = 277,5 C40 = 75,4
Aço 5.0mm (kg)	2814,80	3069,20	2983,20	3267,30	2855,70	2950,20	2807,60	2968,80
Aço 6.3mm (kg)	4105,80	4224,10	3795,00	3235,30	4108,00	4012,50	4463,30	4361,40
Aço 8.0mm (kg)	2871,90	2844,90	3621,20	4298,20	2777,80	2718,00	2935,80	2798,10
Aço 10.0mm (kg)	6579,60	6828,90	7702,50	7941,50	6797,10	6737,60	6459,10	6922,90
Aço 12.5mm (kg)	3827,70	3721,30	3076,10	3133,40	3585,90	3774,90	3903,80	3756,50
Aço 16.0mm (kg)	2163,30	1857,30	1929,60	2023,10	2195,50	1951,70	2329,90	1530,10
Aço 20.0mm (kg)	2301,70	2214,10	1650,50	1053,30	2053,20	1678,40	1978,00	1714,20
Aço 25.0mm (kg)	2576,80	1465,20	832,00	406,60	1465,20	406,60	2382,60	406,60
Total de Aço (kg)	27241,60	26225,00	25590,10	25358,70	25838,40	24229,90	27260,10	24458,60
Total de Concreto (m³)	352,90	352,90	352,90	352,90	352,90	352,90	352,90	352,90

FIGURA 3. Tabela de quantidades de aço e concreto obtidos ao aplicar diferentes valores de f_{ck} como proposto.

FONTE: Autores (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação das fórmulas (1) e (2) nos valores extraídos, conforme FIGURA 3, e utilizando os dados mostrados na TABELA 2 e TABELA 3 para a realização dos cálculos foi possível observar dois extremos: No Cálculo 04, onde se teve um aumento de R\$10.025,53 em relação ao valor referencial de R\$206.612,00 e no Cálculo 06, onde se teve uma diminuição de R\$8.643,54 em relação ao mesmo valor referencial.

Comparativo Financeiro	Cálculo 01	Cálculo 02	Cálculo 03	Cálculo 04	Cálculo 05	Cálculo 06	Cálculo 07	Cálculo 08
Vigas e Lajes (Fck)	25 MPa	30 MPa	35 MPa	40 MPa	25 MPa	25 MPa	30 MPa	30 MPa
Pilares (Fck)	25 MPa	30 MPa	35 MPa	40 MPa	30 MPa	40 MPa	25 MPa	40 MPa
Aço 5.0mm	R\$ 12.794,55	R\$ 13.950,91	R\$ 13.560,00	R\$ 14.851,40	R\$ 12.980,45	R\$ 13.410,00	R\$ 12.761,82	R\$ 13.494,55
Aço 6.3mm	R\$ 16.339,41	R\$ 16.810,19	R\$ 15.102,60	R\$ 12.875,17	R\$ 16.348,16	R\$ 15.968,11	R\$ 17.762,11	R\$ 17.356,60
Aço 8.0mm	R\$ 12.026,84	R\$ 11.913,77	R\$ 15.164,73	R\$ 17.999,85	R\$ 11.632,80	R\$ 11.382,34	R\$ 12.294,44	R\$ 11.717,80
Aço 10.0mm	R\$ 25.726,56	R\$ 26.701,33	R\$ 30.117,15	R\$ 31.051,65	R\$ 26.577,00	R\$ 26.344,34	R\$ 25.255,40	R\$ 27.068,90
Aço 12.5mm	R\$ 15.584,40	R\$ 15.151,19	R\$ 12.524,27	R\$ 12.757,60	R\$ 14.599,91	R\$ 15.369,42	R\$ 15.894,24	R\$ 15.294,51
Aço 16.0mm	R\$ 8.745,28	R\$ 7.508,25	R\$ 7.800,53	R\$ 8.178,51	R\$ 8.875,45	R\$ 7.889,90	R\$ 9.418,80	R\$ 6.185,53
Aço 20.0mm	R\$ 9.411,52	R\$ 9.411,52	R\$ 6.748,80	R\$ 4.306,90	R\$ 8.395,42	R\$ 6.862,90	R\$ 8.087,93	R\$ 7.009,30
Aço 25.0mm	R\$ 10.700,44	R\$ 6.084,40	R\$ 3.454,97	R\$ 1.688,45	R\$ 6.084,40	R\$ 1.688,45	R\$ 9.894,00	R\$ 1.688,45
Concreto	R\$ 95.283,00	R\$ 98.812,00	R\$ 102.341,00	R\$ 112.928,00	R\$ 96.037,00	R\$ 99.053,00	R\$ 98.058,00	R\$ 101.828,00
Totais	R\$ 206.612,00	R\$ 206.343,56	R\$ 206.814,05	R\$ 216.637,53	R\$ 201.530,59	R\$ 197.968,46	R\$ 209.426,74	R\$ 201.643,64
Diferenças	Valor Referencial	-R\$ 268,44	R\$ 202,05	R\$ 10.025,53	-R\$ 5.081,41	-R\$ 8.643,54	R\$ 2.814,74	-R\$ 4.968,36

FIGURA 4. Tabela com todos os valores obtidos após aplicação das fórmulas (1) e (2) – Comparativo Financeiro.

FONTE: Autores (2019).

CONCLUSÕES

Depois de verificados e comparados todos os resultados, concluiu-se que, para o edifício de onze pavimentos utilizado como modelo, a variação estipulada no sexto caso, onde foi utilizado o f_{ck} de 25MPa para vigas e 40MPa para pilares, mostrou uma redução de R\$8.643,54, no custo da estrutura, economia na ordem de aproximadamente 4,18%, e ainda, uma redução de 3.011,7kg de aço, quando comparado com o valor base, onde foi utilizado o f_{ck} de 25Mpa, tanto para vigas quanto pilares. Como não houve alteração das seções das vigas e pilares, não houve mudanças nos valores da

esbeltez da estrutura, e, utilizar um f_{ck} maior em pilares, mostra-se eficaz, levando em conta o fato de que os pilares sofrem uma ação de compressão superior à das vigas.

Conclui-se, portanto, que é vantajoso do ponto de vista econômico, estudar as variações do f_{ck} de cada projeto em específico, para que, com os resultados em mãos, se faça a escolha do valor ótimo alcançado, reduzindo assim os custos da estrutura de forma simples e efetiva.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação: NBR 7480:2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento: NBR 6120:1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. NBR 8953:2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Forças devidas ao vento nas edificações: NBR 6123:1988 Versão Corrigida 2: 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento: NBR 6118:2014 Versão Corrigida: 2014.

TQS INFORMÁTICA LTDA. Disponível em: <http://www.tqs.com.br> Acesso em: 27 mar. 2019.