

ANÁLISE DE PILARES DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA SUBMETIDOS À FLEXÃO COMPOSTA CONFORME A NBR 6118:2014

ANALYSIS OF COLUMNS OF HIGH STRENGTH CONCRETE SUBJECT TO COMPOSITE FLEXURAL AS NBR 6118: 2014

Adilson Aparecido Gonçalves Júnior¹
Romel Dias Vanderlei²

Resumo: Estudos recentes mostram que o concreto de alta resistência (CAR), além de ser um ótimo recurso para a idealização de elementos estruturais mais esbeltos e espaçados, favorecendo a flexibilidade do projeto arquitetônico, promove também um expressivo aumento da durabilidade para as construções. Estas vantagens estão intimamente ligadas com os conceitos da Engenharia Moderna. Diante deste contexto houve uma movimentação recente no Brasil para atualizar a norma brasileira, a NBR 6118:2007, que trata dos procedimentos de projetos para estruturas de concreto convencional ($f_{ck,28 \text{ dias}} \leq 50 \text{ MPa}$), tendo como resultado a NBR 6118:2014, já ajustada para o CAR ($50 \text{ MPa} < f_{ck,28 \text{ dias}} \leq 90 \text{ MPa}$). O presente trabalho apresenta uma análise comparativa entre os modelos de cálculo propostos, para as versões antiga e atual da NBR 6118, aplicados especialmente para pilares projetados com CAR e submetidos à flexão composta. Para isso foi desenvolvido uma ferramenta computacional que determina a capacidade resistente de pilares solicitados à flexo-compressão, baseado no equilíbrio de forças, na compatibilidade de deformações para seções de concreto e nos critérios e requisitos colocados pelas referências normativas. O programa desenvolvido permite a produção de duas envoltórias de resistência, correspondentes às diferentes versões da norma. Os resultados demonstraram que para pilares de CAR, o método proposto pela atual NBR 6118 conduz a esforços resistentes evidentemente menores que os obtidos a partir da extrapolação do método da norma antiga. Esses resultados são compatíveis com os previstos na literatura devido ao CAR ter comportamento mais frágil.

Palavras-chave: Flexão composta; Dimensionamento de pilares de concreto de alta resistência; MATLAB.

Abstract: Recent studies show that high strength concrete (HSC), besides being a great resource for the idealization of more slender and spaced structural elements, favoring flexibility of architectural design, also promotes a significant increase in durability to buildings. These advantages are closely connected with the concepts of Modern Engineering. Facing this context there was a recent movement in Brazil to update the Brazilian standard, NBR 6118: 2007, which deals with the procedures for project structures of conventional concrete ($f_{ck,28\text{days}} \leq 50 \text{ MPa}$), resulting in the NBR 6118: 2014 already set to the HSC ($50 \text{ MPa} < f_{ck,28 \text{ days}} \leq 90 \text{ MPa}$). This paper presents a comparative analysis between the calculations models proposed for the old and current versions of NBR 6118, especially applied to columns designed with HSC and subjected to composite flexural. For it was developed a computational tool which determines the bearing capacity of columns subjected to flexion-compression, based on the equilibrium of forces, on the compatibility of deformation for concrete sections and the criteria and requirements posed by normative references. The developed program allows the production of two envelopes of resistance corresponding to different versions of the standard. The results showed that for columns of HSC, the method proposed by the newer NBR 6118 leads to lower resistant efforts than those obtained from extrapolation of the older method. These results are consistent with those provided in the literature due to the HSR have more brittle behavior

Keywords: Composite flexural; Design of columns of high strength concrete; MATLAB.

1 INTRODUÇÃO

As práticas atuais na Engenharia Civil buscam constantemente a produção de obras duráveis e que atendam as mais exigentes necessidades da sociedade moderna, como a flexibilidade de projetos arquitetônicos e a otimização dos espaços disponíveis. Dentre as ações que contribuem para esses objetivos, pode-se citar o uso do concreto de alta resistência

¹ Engenheiro Civil, Mestrando, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-PCV, adigoncalvesjr@gmail.com

² Prof. Dr., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, rdvanderlei@uem.br. Autor para correspondência.

e a evolução dos métodos de cálculo estrutural (Torrico, 2010).

No que tange as estruturas e o CAR, merece destaque o emprego de pilares de esbeltezas significativas, sendo esse um elemento de especial interesse nos estudos científicos atuais. A história desse elemento estrutural teve início no ano de 1744, com o matemático Leonard Euler, que demonstrou uma famosa expressão para a análise da flambagem de elementos comprimidos de material elástico linear (Torrico, 2010).

Por apresentarem não linearidades de características físicas e/ou geométricas e por estarem comprimidos, ocorre normalmente dos pilares serem solicitados por esforços de flexo-compressão. A avaliação da estabilidade de estruturas submetidas a esse tipo de solicitação pode ser feita a partir da comparação de uma envoltória de resistência com os esforços que agem sobre o elemento estrutural.

No Brasil, os procedimentos de dimensionamento de pilares eram fundamentados na ABNT NBR 6118:2007 - *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*, que era restrita para concretos convencionais, isto é, com resistência característica à compressão aos 28 dias menor ou igual a 50 MPa. Devido ao crescente emprego do CAR e em vista de seus benefícios, houve uma movimentação recente, por conta dos representantes dos setores envolvidos com o tema, para propor atualizações para a NBR 6118:2007. Como resultado dessa iniciativa tem-se a NBR 6118:2014, já ajustada para concretos de até 90 MPa.

Incentivado por este contexto, no trabalho descrito neste artigo, pretendeu-se realizar o desenvolvimento de um programa computacional que permitisse avaliar o comportamento de pilares de CAR sujeitos à flexão composta, frente aos critérios das duas versões da NBR 6118. A implementação computacional ocorreu com o auxílio do software MATLAB, que oferece um rico banco de ferramentas para a construção de interfaces gráficas além de inúmeras funções predefinidas.

O algoritmo de cálculo implementado se desenvolveu baseado na análise dos estados limites de ruptura do concreto e de deformação plástica excessiva das barras das armaduras, em vista do que é apresentado na ABNT NBR 6118:2014, e no equilíbrio de forças e da compatibilidade de deformações para seções de concreto apresentados por Fusco (1978). Os fundamentos principais desses procedimentos serão brevemente explicados no que segue.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Flexão composta e as versões de 2014 e de 2007 da NBR 6118

No estudo de seções de elementos submetidos à flexão simples, composta ou oblíqua, deve-se conhecer a forma da distribuição de tensões sobre os materiais que as constituem. Nas barras de aço, por serem elementos pontuais, considera-se dentro de certos limites, que cada uma está sujeita a uma tensão uniforme, proporcional a sua respectiva deformação. Para o concreto, esta avaliação já é mais complexa, sendo a distribuição de tensões definida através de um diagrama tensão-deformação.

A NBR 6118:2014 trata as tensões no concreto através do diagrama parábola-retângulo (caso de concretos convencionais), ou "aproximadamente" parábola-retângulo (caso de concretos de alta resistência), colocando como alternativa a simplificação destes por meio de um retângulo aproximado de altura $\lambda \cdot x$ (em que x é a profundidade da linha neutra e λ um fator), como apresentados na Figura 1.

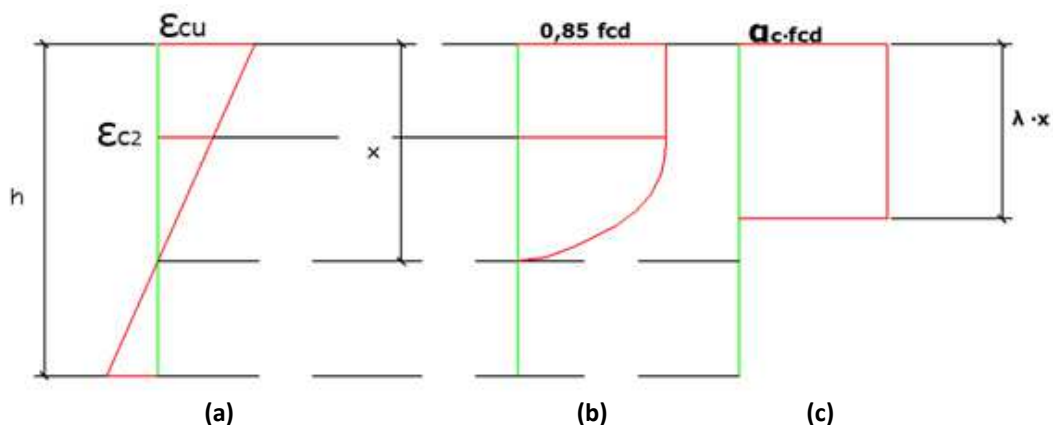


Figura 1. (a) Diagrama de deformações (b) Distribuição de tensão sem simplificação (c) Distribuição de tensão segundo o diagrama retangular aproximado

A tensão no concreto (σ_c), no trecho curvo (Figura 1-b), desenvolve-se conforme a equação 1.

$$\sigma_c = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right], \quad (1)$$

para $0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$, em que,

ε_{c2} = deformação relativa, em ‰, correspondente ao patamar de escoamento do concreto,

ε_c = deformação relativa, em ‰, do concreto para uma dada profundidade da linha neutra,

f_{cd} = Resistência de cálculo à compressão do concreto em kN/cm².

Para fck maior que 50 MPa, o valor de ε_{c2} é definido pela equação 2.

$$\varepsilon_{c2} = 0,2\% + 0,0085\% \cdot (f_{ck} - 50)^{0,53}, \quad (2)$$

em que,

f_{ck} = Resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias de idade, em MPa.

Para fck menor ou igual a 50 MPa, ε_{c2} é fixado em 2,0‰.

Já o expoente “n”, na equação 1, é dado pela equação 3.

$$n = 1,4 + 23,4 \cdot [(90 - f_{ck})/100]^4, \quad (3)$$

para concretos com fck menor ou igual a 50 MPa, n é fixado em 2.

Para concretos convencionais, tem-se $\lambda = 0,8$, e para concretos de alta resistência λ é determinado pela equação 4.

$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400. \quad (4)$$

O coeficiente α_c para concretos convencionais vale 0,85, enquanto que para concretos de alta resistência este é obtido através da equação 5.

$$\alpha_c = 0,85 \cdot \left(1,0 - \frac{f_{ck}-50}{200} \right). \quad (5)$$

No caso da largura da seção, medida paralelamente à linha neutra, diminuir a partir desta para a borda comprimida, então a base do retângulo aproximado da Figura 1 (c) é obtido pela equação 6.

$$"Base" = 0,9 \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}. \quad (6)$$

Observa-se que para concretos convencionais, nas metodologias de cálculo da NBR 6118:2014 e da NBR 6118:2007, os resultados convergem para os mesmos valores. No procedimento de cálculo para o equilíbrio de forças e para a compatibilidade de deformações, adotou-se as simplificações da NBR 6118:2014 para a determinação da tensão no concreto.

2.1.2 Envoltórias de resistência

A ferramenta computacional desenvolvida permite a produção de duas envoltórias de resistência, correspondentes às versões nova e antiga da NBR 6118. Essas envoltórias delimitam a região de esforços resistentes de uma dada seção de pilar declarada, sendo que os pares de esforços resistentes últimos (NU, MU) que as descrevem, em síntese, são obtidos através das equações 7 e 8.

$$N_u = b \cdot h \cdot f_{cd} \cdot v_u \quad (7)$$

e

$$M_u = N_u \cdot e_0 = N_u \cdot f(\mu_{su}), \quad (8)$$

sendo as variáveis:

N_u = esforço normal resistente último,

M_u = momento fletor resistente último,

b = base da seção do pilar,

h = altura da seção do pilar (na direção em que age o momento fletor),

$e_0 = f(\mu_{su})$ = excentricidade da força normal em relação ao centróide da peça = função de μ_{su} ,

e as demais como as apresentadas na figura 2.

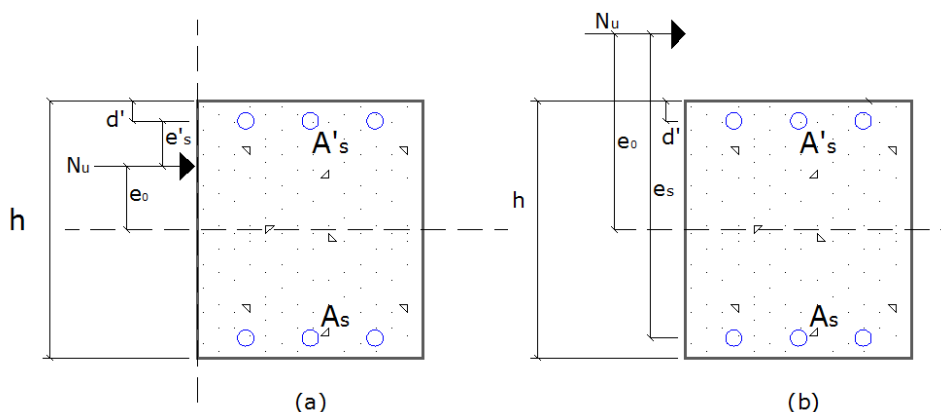


Figura 2. Excentricidade da força normal: (a) no domínio 5 (b) e nos domínios 2, 3, 4 e 4a

Os coeficientes v_u e μ_{su} são determinados através de equações que dependem de uma série de variáveis, tais como: posição da linha neutra, deformações das armaduras, deformações máximas do concreto, tensão de escoamento do aço, tensão de ruptura do aço, posições das armaduras, taxas mecânicas de armaduras, base e altura da seção de concreto.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Desenvolvimento do programa

A metodologia de trabalho consistiu primeiramente na elaboração de um procedimento de cálculo para o dimensionamento de pilares de concreto, de alta resistência, armado, com extensão também aplicável para concretos convencionais, levando em consideração as recomendações normativas da ABNT NBR 6118:2014 e da ABNT NBR 6118:2007. Em seguida desenvolveu-se um programa computacional sistematizando o procedimento de cálculo elaborado anteriormente.

A implementação computacional ocorreu com o auxílio do software MATLAB. Algumas características foram importantes na escolha deste, dentre elas pode-se mencionar o rico banco de ferramentas para a construção de interfaces gráficas e as inúmeras funções predefinidas oferecidas pelo software. Outro ponto positivo do MATLAB consiste no fato de

seu ambiente de cálculo ser constituído exclusivamente por matrizes, o que possibilita uma velocidade de manipulação de dados muito superior que as simples manipulações "variável por variável" (Chapnam, 2006).

2.2.2 Simulação de pilares

Com o programa pronto, foram simulados dois pilares (Pilares A e B, como na Figura 9), em que percorrendo-se a resistência à compressão característica de 50 a 90 MPa, faixa do CAR, registrou-se pontos característicos das envoltórias de resistência (esforço normal resistente máximo, momento resistente máximo e esforço normal correspondente ao máximo momento resistente).

Com a intenção de produzir resultados que se permitem realizar comparações entre os métodos propostos pelas normas, extrapolou-se os procedimentos de cálculo da norma antiga (aplicável para concretos convencionais), a NBR 6118:2007, e aplicou-se os da norma atualizada, a NBR 6118:2014, para a produção de duas envoltórias de resistência. Os valores dos pontos característicos dessas envoltórias são apresentados, em forma de gráficos, nas Figuras 10 e 11.

O critério utilizado para a escolha da seção dos pilares avaliados consistiu na aplicação de dois lados extremos. Isto é, tem-se no caso do Pilar A um elemento de grandes dimensões, praticável em edifícios altos, como os da ordem de 60 a 80 pavimentos, e já para o Pilar B tem-se um elemento comumente observado em edifícios bem menores, de 4 a 6 pavimentos. Ambos os elementos estruturais foram obtidos a partir de um pré-dimensionamento baseado no princípio das áreas de influência.

2.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

2.3.1 Resultados gerais

Como parte da proposta do trabalho, obteve-se um programa computacional, denominado "PILAR_NORMAL" (ver interface gráfica na Figura 4), que permite a avaliação de seções de concreto submetidas à flexão composta. O grande diferencial do programa consiste na sua aplicação para concretos de alta resistência, conforme as atualizações apresentadas na NBR 6118:2014. A estrutura básica do algoritmo desenvolvido é mostrada na Figura 3.

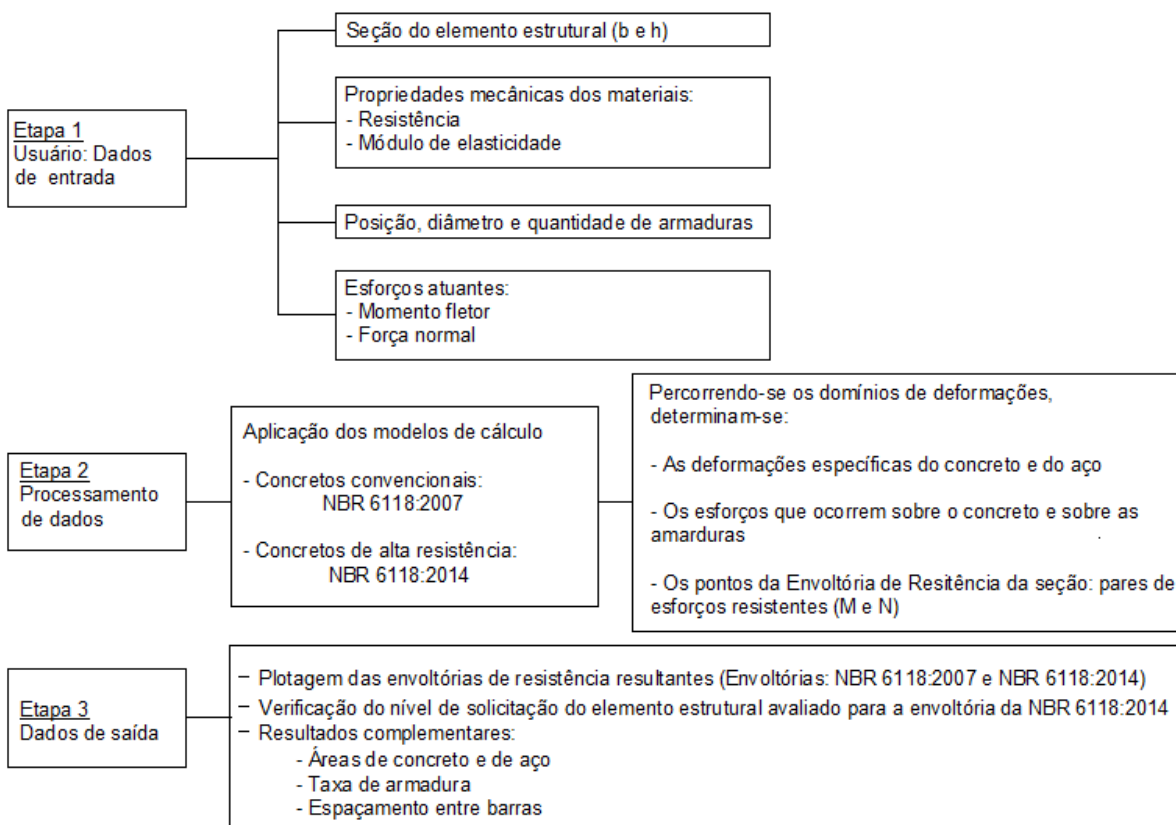


Figura 3. Esquema básico do algoritmo do programa

O programa final apresenta campos onde são incluídos os dados de entrada (Regiões 1, 2 e 4, em verde na Figura 4), sendo eles referentes à geometria da seção, ao posicionamento das armaduras, ao cobrimento de concreto da armadura e à caracterização dos materiais. Também apresenta campos que recebem os resultados do processamento do algoritmo (Regiões 3 e 5, em azul na Figura 4). Dentre estes estão duas envoltórias de resistência (conforme os modelos de cálculo das NBR 6118:2007 e NBR 6118:2014) para a seção informada e dados gerais, como a área de concreto, o espaçamento entre as barras de aço e a taxa de armadura.

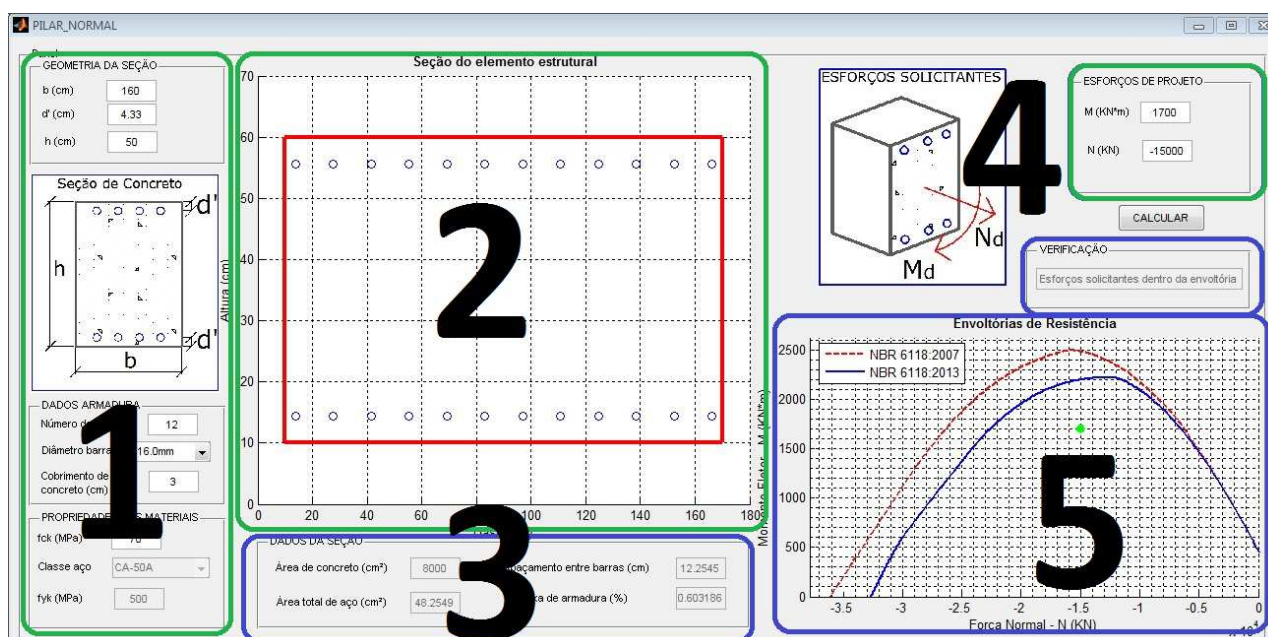


Figura 4. Interface gráfica geral do programa

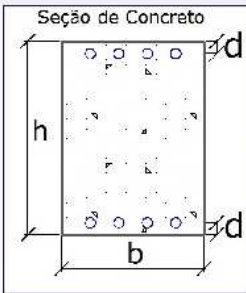
GEOMETRIA DA SEÇÃO

b (cm)

d' (cm)

h (cm)

Seção de Concreto



DADOS ARMADURA

Número de barras

Diâmetro barras

Cobrimento de concreto (cm)

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

fck (MPa)

Classe aço

fyk (MPa)

Figura 5. Entrada de dados: configuração da seção e propriedades dos materiais

Uma ilustração, identificando as variáveis referentes à configuração da seção do pilar, é apresentada próxima aos campos de entrada de dados na Região 1 da Figura 4. Na parte inferior desta região, o usuário define também as propriedades mecânicas dos materiais empregados. Na Figura 5 está melhor detalhado o descrito.

De forma interativa e simultânea, na região 2 da Figura 4, é atualizada a seção declarada a cada novo dado fornecido pelo usuário. Logo abaixo desse campo, na região 3, são apresentadas informações básicas da seção (áreas, taxa de armadura e espaçamento entre barras). A Figura 6 apresenta uma situação de configuração de seção transversal produzida no programa.

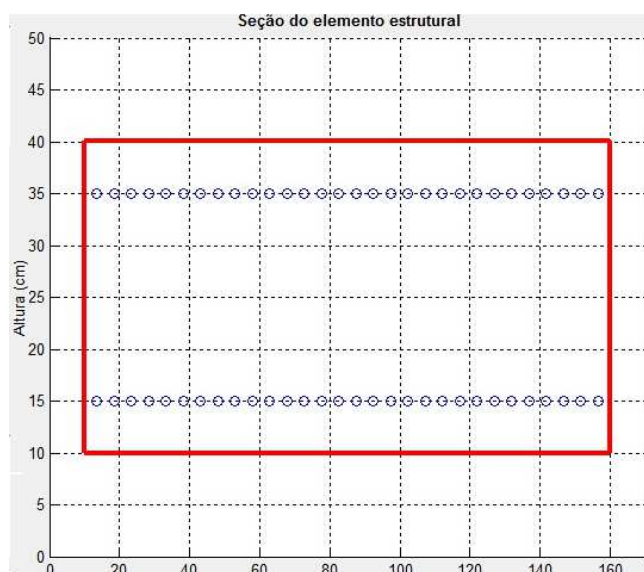


Figura 6. Representação de uma seção transversal declarada pelo usuário

A Região 4 da Figura 4 recebe as informações referentes aos esforços solicitantes que

agem sobre a seção. Esses serão comparados com a resistência estrutural, que é apresentada na Região 5, em função da envoltória de resistência da NBR 6118:2014. É apresentada também, para fins de comparação, a envoltória de resistência, extrapolada para o CAR, conforme o modelo de cálculo da NBR 6118:2007 (Figura 8).

O próprio programa faz ainda a verificação estrutural, através de uma mensagem, e também apresentando no gráfico o ponto da solicitação atuante (Figura 7), informado pelo usuário, em verde quando dentro da envoltória comparada, ou em vermelho quando fora (Figura 8).

ESFORÇOS SOLICITANTES

ESFORÇOS DE PROJETO

M (KN*m) 1700

N (KN) -15000

CALCULAR

Figura 7. Esforços solicitantes que agem sobre a seção

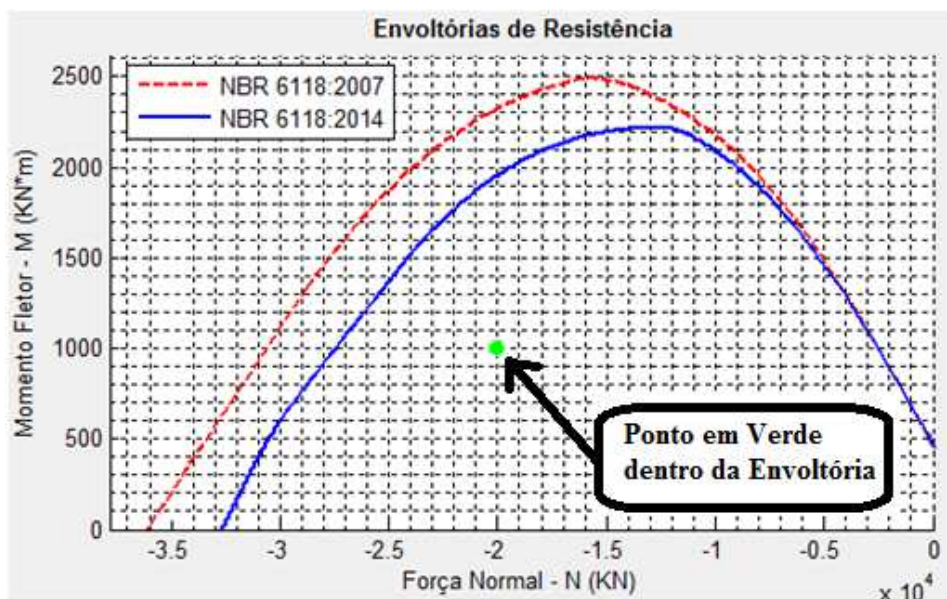


Figura 8. Envoltórias de resistência (NBR 6118:2007 e NBR 6118:2014)

O MATLAB permite a conversão de programas desenvolvidos no mesmo em executáveis que funcionam a partir de um compilador externo. Essa ferramenta possibilitou o compartilhamento do programa final obtido através da sua transformação em um arquivo independente.

2.3.2 Comparação entre as versões da NBR 6118 de 2007 e 2014

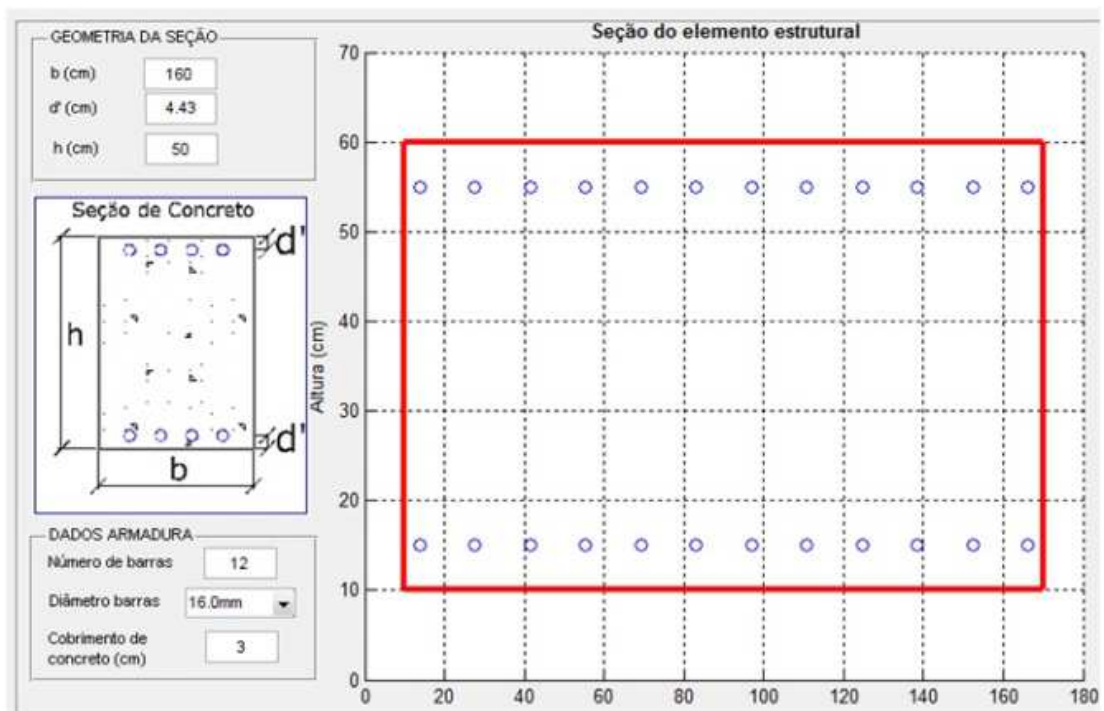
Foram avaliados os pilares Pilares A e B (Figura 9). Nos gráficos (c) e (a), de cada uma das Figuras 10 e 11, são apresentadas curvas traçadas a partir dos pares de pontos "Resistência característica (f_{ck}) x Força Normal Resistente Máxima" e "Resistência característica (f_{ck}) x Momento Fletor Resistente Máximo", respectivamente. Os valores para

a "Força Normal Resistente Máxima" e o "Momento Fletor Resistente Máximo" são obtidos diretamente a partir dos pontos máximos demonstrados pelas respectivas envoltórias de resistência desenvolvidas pelo programa.

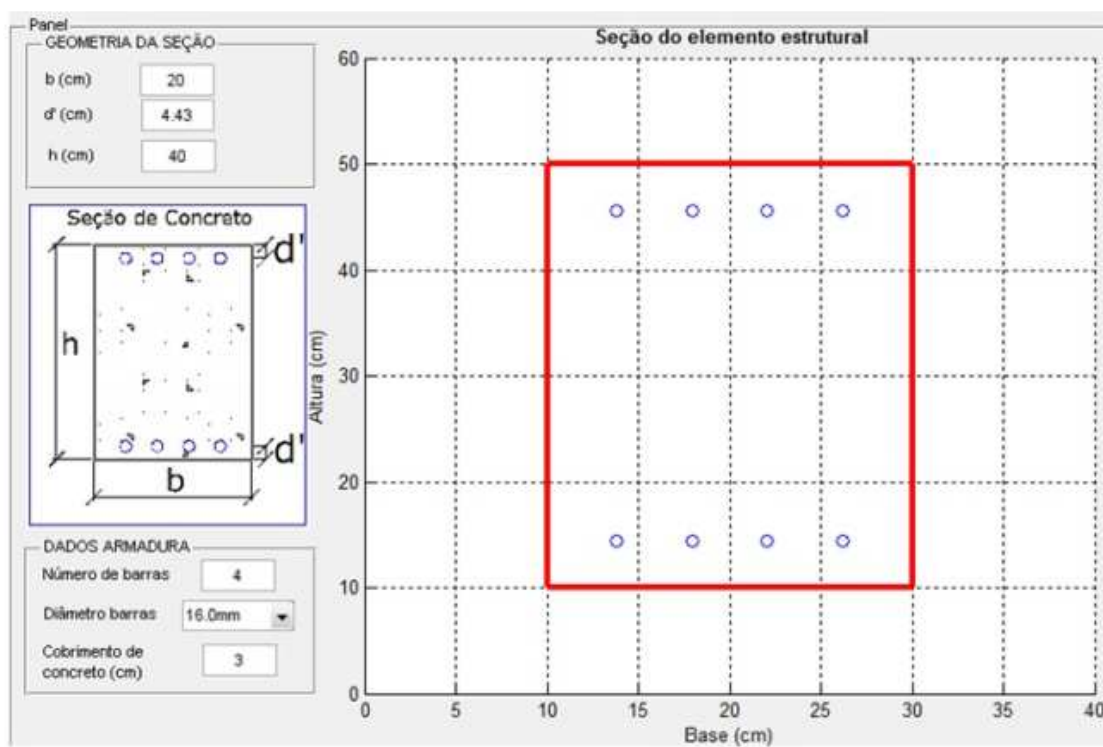
Já no gráfico (b), conforme as Figuras 10 e 11, são desenhadas curvas formadas por pares de pontos dados por "Resistência característica (f_{ck}) x Força Normal Resistente (Momento Fletor Resistente Máximo)". O valor atribuído à "**Força Normal Resistente (Momento Fletor Resistente Máximo)**" corresponde à respectiva força normal do par ordenado (**Força Normal Resistente; Momento Fletor Resistente Máximo**). Cada valor de "Momento Fletor Resistente Máximo" é dado pelo máximo momento fletor acusado por cada uma das envoltórias de resistência.

Os resultados obtidos demonstram evidentemente que o método de cálculo da NBR 6118:2014, para o CAR, conduz a valores resistentes menores que os obtidos segundo os procedimentos da NBR 6118:2007. E mais, pode-se concluir também que, quanto maior a resistência característica do concreto, maior é a diferença entre os valores resistentes apontados pelos dois métodos, sendo que, até a resistência característica à compressão de 55 MPa, essas diferenças são pequenas.

Os pontos dos gráficos das Figuras 10 e 11 são apresentados respectivamente nas Tabelas 1 e 2. Para melhorar a visualização dos resultados foi desenvolvido ainda um gráfico que apresenta as relações entre momentos máximos, dadas por M_{max} (NBR 6118:2014)/ M_{max} (NBR 6118:2007) em função da resistência característica do concreto, como apresentado na Figura 12.



(a) Pilar A



(b) Pilar B

Figura 9. Seções dos pilares simulados: (a) Pilar A e (b) Pilar B

Tabela 1. Esforços (normal e momento) resistentes para o Pilar A conforme a resistência característica do concreto

fck (MPa)	NBR 6118:2007			NBR 6118:2014		
	M_max (KN*m)	N(M_max) (KN)	N_max (KN)	M_max (KN*m)	N(M_max) (KN)	N_max (KN)
50	1904	11296	26312	1904	11296	26312
51	1933	11522	26798	1922	11107	26683
52	1963	11747	27284	1940	11248	27044
53	1992	11973	27770	1959	11172	27399
54	2022	12199	28255	1977	11306	27749
55	2051	12425	28741	1995	11217	28093
60	2199	13554	31170	2074	11571	29742
65	2346	14682	33598	2146	12059	31266
70	2494	15811	36027	2216	12948	32669
75	2640	16940	38455	2282	13738	33949
80	2788	18069	40884	2343	14524	35108
85	2936	19198	43312	2397	15219	36144
90	3083	20327	45741	2445	15601	37059

Tabela 2. Esforços (normal e momento) resistentes para o Pilar B conforme a resistência característica do concreto

fck (MPa)	NBR 6118:2007			NBR 6118:2013		
	M_max (KN*m)	N(M_max) (KN)	N_max (KN)	M_max (KN*m)	N(M_max) (KN)	N_max (KN)
50	226	1084	3104	226	1084	3104
51	229	1106	3153	228	1084	3143
52	231	1127	3201	229	1078	3180
53	233	1149	3250	231	1090	3216
54	236	1171	3298	232	1083	3252
55	238	1192	3347	233	1094	3287
60	250	1301	3590	239	1107	3454
65	261	1409	3833	245	1130	3608
70	273	1518	4076	250	1142	3750
75	285	1655	4318	253	1167	3879
80	297	1765	4561	257	1189	3996
85	308	1875	4804	260	1205	4101
90	320	1985	5047	263	1216	4193

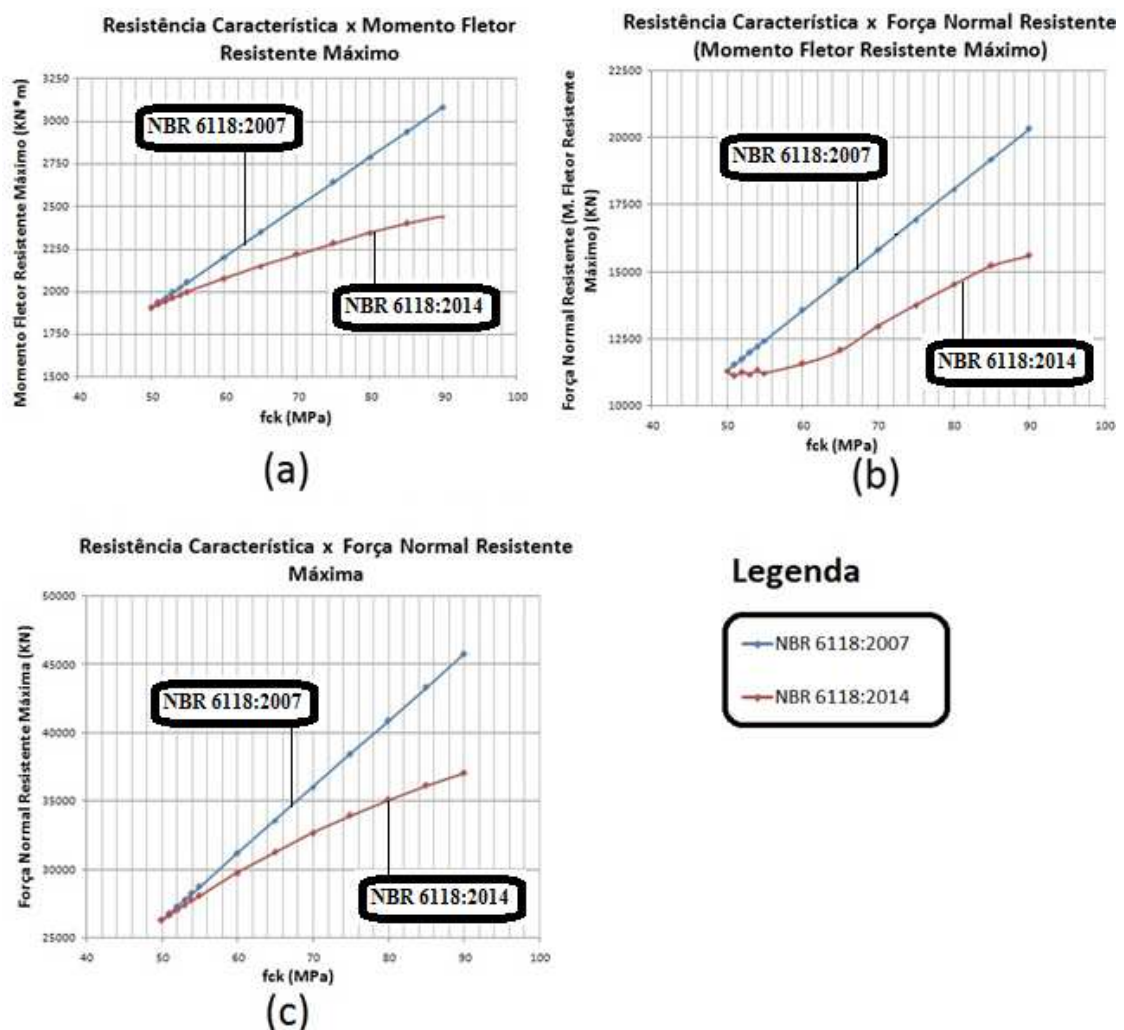


Figura 10. Gráficos para o Pilar A: (a) Resistência característica x Momento Fletor Resistente Máximo (b) Resistência característica x Força Normal Resistente (Momento Fletor Resistente Máximo) (c) Resistência característica x Força Normal Resistente Máxima

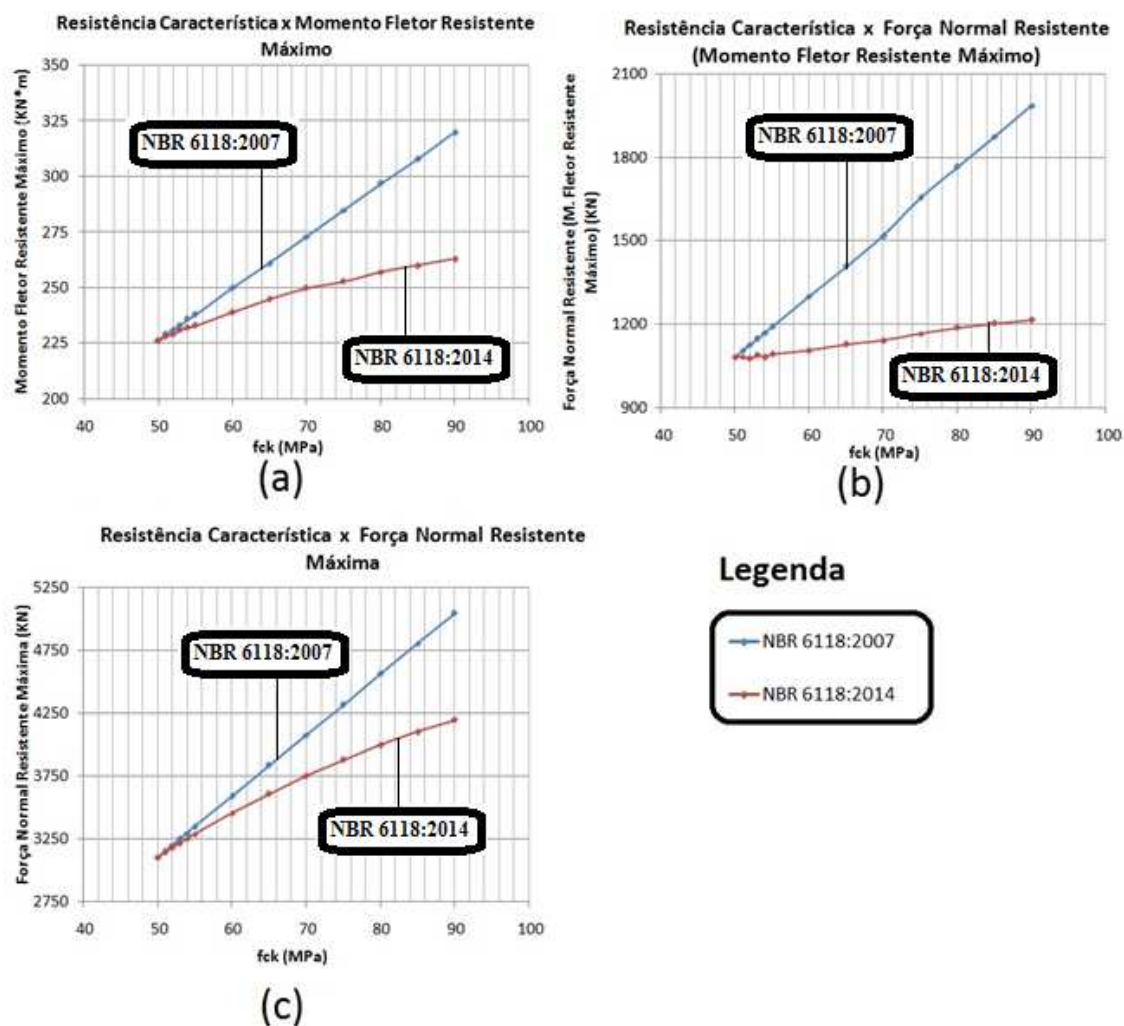


Figura 11. Gráficos para o Pilar B: **(a)** Resistência característica x Momento Fletor Resistente Máximo **(b)** Resistência característica x Força Normal Resistente (Momento Fletor Resistente Máximo) **(c)** Resistência característica x Força Normal Resistente Máxima

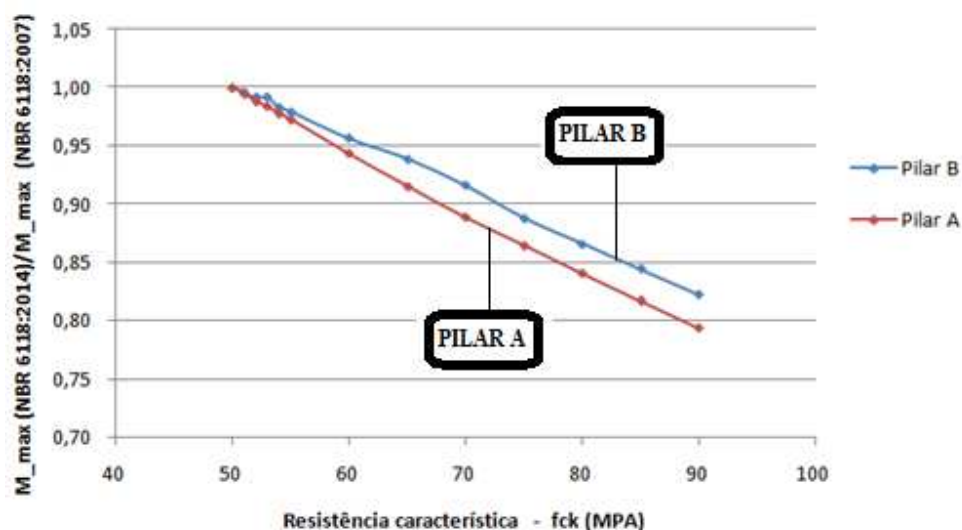


Figura 12. Gráfico: $M_{max} (NBR 6118:2014)/M_{max} (NBR 6118:2007)$ x Resistência característica à compressão

3 CONCLUSÃO

O programa final obtido apresenta uma interface gráfica didática de simples utilização para qualquer pessoa que possua conhecimento básicos dos conteúdos relacionados. Isso permite que usuários avaliem de forma prática e ágil seções de concreto submetidas à flexão composta, comparando ainda, para o pilares de CAR, as resistências obtidas pelos modelos de cálculo das NBR 6118:2007 e NBR 6118:2014.

Observa-se, no exemplo da Figura 8, que do lado direito do gráfico as diferenças de esforços resistentes são menores, apresentando inclusive um trecho com aparente sobreposição das envoltórias de resistência. A explicação desta constatação está sustentada no fato de que o lado extremo direito se trata de flexo-compressão de grande excentricidade. Neste região o estado de solitação acontece no domínio 2, onde o ELU é dado por alongamento plástico das armaduras tracionadas, e a parcela resistente do concreto ainda é pequena, e portanto a diferença entre os dois métodos de cálculo, pautada na contribuição do concreto, também é pequena (Fernandes, 2006). Esta diferença vai passando a ser mais significativa conforme vai aumentando a profundidade da linha neutra, ou seja, percorrendo-se as envoltórias de resistência da direita para a esquerda.

Ainda com relação à comparação com os métodos, como previsto na literatura e demonstrado em estudos experimentais, as penalidades aplicáveis na consideração da resistência útil do concreto, segundo o método de cálculo proposto pela NBR 6118:2014 para o CAR, conduzem a esforços resistentes evidentemente menores que os obtidos a partir do método da norma antiga, como apresentado nas Figuras 10 e 11.

A explicação do fato mencionado no parágrafo anterior está diretamente ligada com o aumento da fragilidade (ruptura "mais frágil") para concretos de alta resistência. Como citado em estudos, no estado limite último, pilares moldados com estes materiais, além de apresentarem uma ruptura mais inesperada, estão mais suscetíveis ao descolamento do recobrimento de concreto das armaduras. Estas ocorrências exigem com que sejam consideradas de forma mais rigorosa a tensão e a área efetiva resistente de concreto para elementos estruturais com tais características, o que é praticado na NBR 6118:2014.

O estudo também permite concluir que para resistências características à compressão entre 50 e 55 MPa, a diferença entre os dois modelos analisados é pequena, tornando a transição suave entre os modelos de cálculo para concreto convencional e CAR.

Por se tratar de um programa livre, o mesmo poderá ser destinado ao uso na graduação e também na pós-graduação, dentro das disciplinas de interesse. Especialmente voltado para avaliações da consistência do método de cálculo da NBR 6118:2014, o mesmo constitui um forte instrumento para a realização de comparações de resultados obtidos experimentalmente para pilares de CAR e os produzidos pelo método da norma, sendo esta uma proposta de continuação para o trabalho.

Possíveis melhorias e sugestões que podem agregar ao trabalho realizado seria a abrangência do método de cálculo para seções alternativas, como seções circulares. Pode-se sugerir também a expansão do modelo de cálculo para a análise de elementos sujeitos à flexão oblíqua e a aplicação do digrama de tensão parabólico, ao invés da simplificação mediante o emprego do retângulo aproximado.

Por fim, conclui-se que além do programa ser uma das primeiras demonstrações dos critérios de dimensionamento da NBR 6118:2014 para o uso de concretos de alta resistência, o mesmo também reforça a ideia da grande contribuição de ferramentas computacionais na Engenharia. Atividades complexas e exaustivas, como neste caso necessárias à avaliação de pilares submetidos à flexão composta, foram simplificadas em procedimentos que exigem muito menos trabalho. Mas é sempre importante observar que o uso destes instrumentos computacionais deve sempre ser acompanhado da avaliação crítica e consciente do engenheiro, garantindo assim a confiabilidade dos resultados produzidos e o aperfeiçoamento

constante dos procedimentos empregados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

_____. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

CHAPNAM, S. J. Programação em MATLAB para Engenheiros, tradução técnica por Flávio Soares Correa da Silva. 1ª ed. São Paulo: Thomson Learning, 2006.

FERNANDES, G. B. Solicitações Normais - Cálculo no Estado Limite Último 2ªed. Campinas: Editora UNICAMP, 2006.

FUSCO, P. B. Construções de Concreto: Solicitações Normais e Estados Limites Últimos 2ªed. São Paulo: Editora Édile, 1978.

TORRICO, F. A. Análise teórica e experimental do comportamento de pilares esbeltos de concreto de alta resistência, considerando a ductilidade. São Carlos: USP, 2010, 345p, Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, 2010.