Ferramenta computacional para o cálculo de flechas em vigas de concreto armado e protendido

Lucas Sena da Cruz[1], Elisabeth Junges Laure[2], Lorenzo Augusto Ruschi e Luchi[3]
[1] Universidade Federal do Espírito Santo / Mestrando em Engenharia Civil/ lucas.senna.lsc@hotmail.com
[2]Universidade Federal do Espírito Santo / Departamento de Engenharia Civil / elisabeth.junges@ufes.br
[3]Universidade Federal do Espírito Santo / Departamento de Engenharia Civil / lorenzo.luchi@ufes.br

Resumo

O controle da deformação excessiva em vigas de concreto é essencial para garantir seu desempenho estrutural. Para esse fim foi desenvolvida uma ferramenta computacional para avaliar flechas em vigas de concreto armado de seção retangular e T, considerando diferentes abordagens normativas e métodos de cálculo. O programa AVSer permite a análise de vigas biapoiadas e contínuas, abrangendo modelos simplificados, como a Rigidez Equivalente de Branson (NBR 6118 e Ibracon NB-1) e o Método Bilinear (CEB 1985), além de modelos refinados, como o de Branson com ajuste de expoente e o CEB-Fip (2010). Neste trabalho, o programa foi aprimorado para incluir a análise de vigas protendidas, considerando os esforços hiperestáticos da protensão e a contribuição das cordoalhas na inércia da seção. O foco principal recai sobre a protensão parcial, situação em que a avaliação da flecha se torna mais relevante devido a presença do concreto fissurado. No entanto, o programa também permite a análise de cenários com protensão total ou limitada. Neste estágio do desenvolvimento, são apresentados resultados para análise de flechas imediatas de vigas protendidas pelo método da NBR 6118:2024, além de um Modelo de Elemento de Viga (MEV) que propõe um refinamento do modelo normativo.

Palavras-chave
Flechas; Vigas protendidas; Protensão parcial; NBR 6118:2023.

Introdução

A análise das deformações em vigas de concreto armado e protendido é um aspecto fundamental para garantir o desempenho estrutural adequado, especialmente em relação aos Estados Limites de Serviço (ELS). A previsão correta das flechas imediatas e diferidas é essencial para evitar problemas como fissuração excessiva, desconforto em edificações e perda de funcionalidade estrutural ao longo do tempo. Especificamente para vigas de concreto protendido, a verificação da flecha se torta mais sensível no nível de protensão parcial, em que se permite a fissuração controlada do concreto.

Diferentes normas e recomendações técnicas apresentam metodologias para a previsão das flechas, desde modelos simplificados, até abordagens refinadas que utilizam o método dos elementos finitos aliados a modelos constitutivos mais eficientes para consideração das não linearidades físicas. No Brasil, a norma ABNT NBR 6118:2023, desde a sua versão de 2007, adota o método simplificado de Branson (1963) para a estimativa das flechas imediatas. O American Concrete Institute (ACI Committee 435, 1966) foi a primeira norma a adotar esta fórmula para cálculo simplificado de flecha imediata, sendo ainda recomendada atualmente (ACI 318, 2019). Já o Fib Model Code (2024), propõe o chamado método dos coeficientes globais, baseado no modelo bilinear indicado pelo CEB (1985).

Nesse contexto, o programa AVSer foi desenvolvido como uma ferramenta computacional voltada para a análise de vigas de concreto armado e protendido em condições de serviço, permitindo a aplicação de diferentes abordagens normativas. Inicialmente, o programa contemplava vigas biapoiadas e contínuas com seções retangulares (Junges, 2007) e em T, abrangendo métodos como a Rigidez Equivalente de Branson

(NBR 6118:2007 e Ibracon NB-1), o Método Bilinear (CEB, 1985), além de métodos mais refinados, que propõe um refinamento da abordagem normativa. Esse modelo mais refinado, consiste na discretização da viga em elementos finitos e cálculo de uma inércia equivalente para cada elemento, de acordo com o momento solicitando. Esses modelos mais refinados demonstraram reduzir a variabilidade dos resultados e proporcionar maior precisão em relação aos dados experimentais para vigas de concreto armado (Junges; La Rovere, 2017; Cruz *et al.*, 2020, 2021).

No presente trabalho, o AVSer foi aprimorado para incluir a análise em situação de serviço de vigas protendidas, com foco na protensão parcial, aplicadas a vigas biapoiadas e contínuas, com protensão aderente ou não aderente. Para isso, incorpora-se a presença da proteção por meio de carregamento equivalente e a consideração das cordoalhas no cálculo da inércia da seção. Neste primeiro momento da pesquisa, que está em andamento, é apresentado o processo para cálculo da flecha imediata de vigas protendidas parcialmente, adotando-se o método simplificado da NBR 6118:2023 e o modelo refinado MEV que utiliza a equação de Branson para cálculo da rigidez em cada elemento. Apresentam-se os exemplos numéricos de vigas protendidas para verificação dos resultados obtidos pelo modelo proposto.

Almeja-se, em trabalho futuro, a incorporação do processo de cálculo da flecha diferida, chegando ao valor total de flecha, além de demais complementações ao modelo, como a consideração da variação das perdas de protensão ao longo do vão. Tem-se como objetivo final, apresentar uma ferramenta gratuita e eficiente para cálculo automático das flechas de vigas protendidas, por diferentes métodos normativos e refinados, aplicado a vigas isostáticas e hiperestáticas, nível de protensão parcial, completa e limitada, além de protensão com e sem aderência. Adicionalmente, Dominicini e Coelho (2014), Martins (2018) e Carneiro (2020) elaboraram um programa de dimensionamento de vigas protendidas biapoiadas, onde verifica-se tanto o dimensionamento ao Estado Limite Último quanto verifica-se o Estado Limite de Deformação Excessiva. O programa é limitado a vigas isostáticas, e o cálculo de flechas é restrito ao método da NBR 6118:2014. No futuro, pretende-se integrar a saída de dados desse programa após o dimensionamento ao ELU, inserindo na entrada de dados do AVSer, possibilitando a análise da flecha através dos outros métodos oferecidos pelo programa em desenvolvimento.

Momento de Inércia no Estádio I e Estádio II para seções de vigas protendidas

O modelo simplificado indicado pela NBR 6118:2023 para o cálculo da flecha imediata realiza uma ponderação das inércias entre o Estádio I (concreto sem fissuração) e Estádio II (estado em que o concreto fissurado não contribui para a inércia da seção). Portanto, para o cálculo da flecha imediata é necessário obter inicialmente os valores das inércias no estádio I e II. A seguir são apresentados detalhadamente as equações e considerações adotadas para a implementação computacional.

Para a determinação do momento de inércia da seção com armadura de protensão no Estádio I (I_I), ou seja, antes que ocorra a fissuração do concreto, são considerados os seguintes critérios em relação a presença da cordoalha:

- Para cordoalhas aderidas, tanto no caso de pré-tração quanto para o preenchimento das bainhas com nata de cimento, procedeu-se com a homogeneização da seção para o concreto, semelhante ao que ocorre com as armaduras passivas, porém considerando o módulo de elasticidade das cordoalhas.

- Para o caso de cordoalhas sem aderência, é descontada a área correspondente às bainhas – ou referente à capa de borracha para o caso de monocordoalhas engraxadas – da área de concreto, reduzindo ligeiramente a inércia da seção.

Para a determinação do momento de inercia da seção protendida no Estádio II (I_{II}), que ocorre quando o concreto ultrapassa o momento de fissuração M_r e, a região fissurada não colabora com a rigidez da seção, desenvolveu-se as equações seguintes apenas para o caso de cordoalhas aderidas. Para o caso de protensão não aderente, as cordoalhas não são consideradas na inércia da seção.

- Para o caso de *momento positivo* em vigas de seção T é realizado um primeiro cálculo considerando a hipótese inicial de que a linha neutra LN esteja na alma, conforme as variáveis indicadas na Figura 1, onde a região hachurada corresponde à área de concreto submetido à compressão.

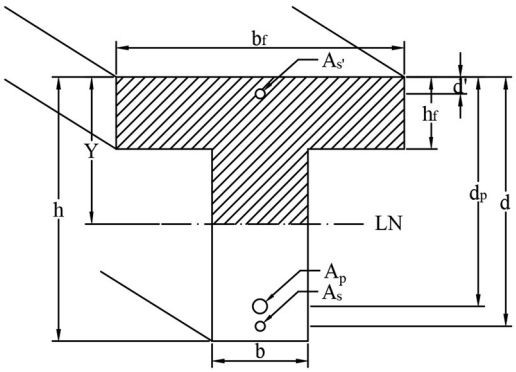

Figura 1 – Indicação de variáveis para a seção protendida aderente submetida à momento positivo.

Buscando o equilíbrio da seção, calcula-se o momento estático em relação à LN - M_{LN}, de onde obtém-se a Equação 1. Essa equação pode ser reorganizada como equação do segundo grau, sendo o valor de y obtido a partir da fórmula de Bhaskara.

$$M_{LN} = b.y.\frac{y}{2} + \left(b_f - b\right).h_f.\left(y - \frac{h_f}{2}\right) + A_{s'}.(\alpha_e - 1).(y - d') - A_s.\alpha_e.(d - y) - A_p.\alpha_p.(d_p - y) \quad (1)$$

Onde $\alpha_e = E_s/E_{cs}$ e $\alpha_p = E_p/E_{cs}$. Obtendo-se a profundidade da linha neutra, é necessário verificar se a hipótese de linha neutra na alma da viga é válida. Caso $y < h_f$, então a linha neutra está na mesa e, o cálculo deve ser refeito considerando a Equação 2 onde considera-se $b = b_f$, como sugerido por Naaman (2012).

$$M_{LN} = b_f.y.\frac{y}{2} + A_{s'}.(\alpha_e - 1).(y - d') - A_s.\alpha_e.(d - y) - A_p.\alpha_p.(d_p - y) \quad (2)$$

Tendo encontrado a profundidade da linha neutra y, a inércia pode ser calculada com a Equação 3 para a linha neutra na alma, ou Equação 4 para a linha neutra na mesa.

$$I_x = \frac{b.y^3}{3} + \frac{\left(b_f - b\right).{h_f}^3}{12} + \left(b_f - b\right).h_f.\left(y - \frac{h_f}{2}\right)^2 + A_{s'}.(\alpha_e - 1).(y - d')^2 + A_s.\alpha_e.(d - y)^2 + A_p.\alpha_p.(d_p - y)^2 \quad (3)$$

$$I_x = \frac{(b_f - b).y^3}{3} + A_{s'}.(\alpha_e - 1).(y - d')^2 + A_s.\alpha_e.(d - y)^2 + A_p.\alpha_p.(d_p - y)^2 \quad (4)$$

- Para o caso de *momento negativo*, observa-se que a cordoalha ativa estará na parte do concreto fissurado, ou seja, na parte superior, como indicado na Figura 2.

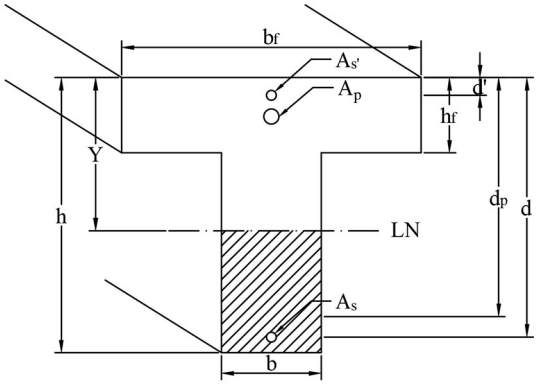

Figura 2 – Indicação de variáveis para a seção protendida aderente submetida à momento negativo.

A distância da face superior até a Linha Neutra y é obtida de modo semelhante ao anterior, buscando o equilíbrio da seção, resultando na Equação 5 para a hipótese inicial de linha neutra na alma. Caso $y < h_f$ será necessário refazer o cálculo com a Equação 6.

$$M_{LN} = b.(h-y).\frac{(h-y)}{2} - A_{s'}.\alpha_e.(y-d') + A_s.(\alpha_e - 1).(d-y) - A_p.\alpha_p.(d_p - y) \quad (5)$$

$$M_{LN} = b.(h-y).\frac{(h-y)}{2} + (b_f - b).(h_f - y).\left(\frac{h_f - y}{2}\right) - A_{s'}.\alpha_e.(y-d') + A_s.(\alpha_e - 1).(d-y) - A_p.\alpha_p.(d_p - y) \quad (6)$$

Os valores de momento de inércia são então calculados pelas Equações 7 e 8 para a linha neutra na alma ou mesa, respectivamente.

$$I_x = \frac{b.(h-y)^3}{3} + A_{s'}.\alpha_e.(y-d')^2 + A_s.(\alpha_e - 1).(d-y)^2 + A_p.\alpha_p.(d_p - y)^2 \quad (7)$$

$$I_x = \frac{b.(h-y)^3}{3} + (b_f - b).\frac{(h_f - y)^3}{3} + A_{s'}.\alpha_e.(y-d')^2 + A_s.(\alpha_e - 1).(d-y)^2 + A_p.\alpha_p.(d_p - y)^2 \quad (8)$$

Cálculo de flecha imediata pelo método simplificado da NBR 6118:2023

Para o cálculo da flecha, deve-se avaliar inicialmente se o momento atuante da combinação quase permanente de cargas externas da viga, M_{CQP}, ultrapassa o momento de fissuração M_r que, de acordo com a norma NBR 6118:2023, em seu item 17.3.1, deve levar em consideração o efeito da protensão. Essa inclusão é necessária pois, no ato do carregamento, a viga já está submetida a um estado de tensões de compressão devido à protensão, logo, deve-se somar ao momento de fissuração o chamado momento de descompressão M_0 que fará com que a viga atinja o estado nulo de tensões. M_r pode ser calculado conforme a Equação 9, enquanto M_0 segue na Equação 11.

$$M_r = \frac{\alpha.f_{ct}.I_c}{y_t} + M_0 \quad (9)$$

Onde α é o fator de forma geométrica que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência a tração direta, podendo assumir $\alpha = 1{,}2$ para seções T ou duplo T; $\alpha = 1{,}3$ para seções I ou T invertido (também aplicado quando houver momento negativo na seção T normal) ou $\alpha = 1{,}5$ para seções retangulares. Além disso, y_t é a distância do centro de gravidade da seção até a fibra mais tracionada do concreto; I_c é o momento de inércia da seção bruta do concreto, ou seja, sem considerar a presença de qualquer armadura; f_{ct} é a resistência à tração direta do concreto, em que adota-se o seu valor médio na falta de ensaios experimentais, calculado conforme a Equação 10 para concretos com $f_{ck} < 50\ MPa$.

$$f_{ct,m} = 0{,}3.{f_{ck}}^{2/3} \quad (10)$$

$$M_0 = \frac{P.W}{A_c} + P.e_p \quad (11)$$

Onde P é a carga de protensão aplicada no cabo, W é o módulo de resistência, uma propriedade da seção definida como a razão entre a inércia da seção bruta de concreto pela distância do centroide até a borda mais tracionada do concreto; A_c é a área da seção inteira e e_p é a excentricidade do cabo, que é a distância do cabo até o centroide da seção.

Enquanto o máximo momento atuante no vão da viga devido às cargas externas for menor ou igual M_r, não há fissuras no concreto, devendo-se considerar a inércia da seção bruta de concreto, ou a seção homogeneizada no Estádio I para uma avaliação mais refinada. Ao ocorrer a fissuração do concreto, a rigidez à flexão da seção

diminui proporcionalmente ao nível de fissuração da viga. Para essa consideração, a norma NBR 6118:2023 recomenda a utilização da equação de Branson exposta na Equação 12.

$$(EI)_{eq} = E_{cs}\left\{\left(\frac{M_r - M_0}{M_{CQP} - M_0}\right)^3 . I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r - M_0}{M_{CQP} - M_0}\right)^3\right] . I_{II}\right\} \leq E_{cs} . I_c \quad (12)$$

Onde E_{cs} é o módulo de elasticidade secante do concreto, e as demais variáveis como definidas anteriormente.

Para vigas contínuas a norma incorporou uma recomendação indicada inicialmente pelo Ibracon (2015), em que se pode adotar para a rigidez equivalente o valor ponderado conforme a Equação 13, cujas variáveis são apresentadas na Figura 3.

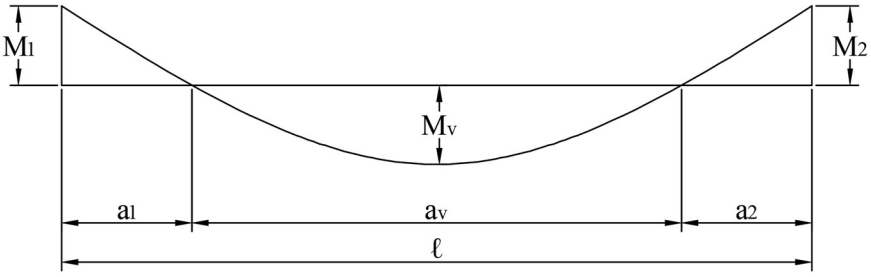

Figura 3 – Ponderação de EI em vigas contínuas. Fonte NBR 6118:2024 adaptado pelo autor.

$$(EI)_{eq} = \frac{1}{\ell}\left[\left((EI)_{eq,1} . a_1\right) + \left((EI)_{eq,v} . a_v\right) + \left((EI)_{eq,2} . a_2\right)\right] \quad (13)$$

Ao utilizar essa ponderação normativa, os valores de M_1, M_v e M_2 serão os momentos atuantes nessas posições de momentos máximos, resultando na consideração de que esse momento máximo está atuando de forma constante em todo o trecho. Essa consideração abre margem para possíveis métodos refinados, onde se considera o momento real atuante em cada elemento de viga, podendo levar a resultados mais precisos.

Modelo MEV-Branson

No modelo refinado implementado no programa AVSer, a viga é discretizada em elementos finitos de dois nós e dois graus de liberdade em cada nó, configurando um elemento de viga – MEV, e todos os parâmetros - como Inercia da seção bruta, Estádio I e Estádio II, M_{CQP}, taxa de armadura passiva, posição da cordoalha ativa, entre outros - são calculados individualmente para cada elemento, de comprimento definido pelo usuário.

Após o cálculo desses parâmetros individuais, é definido o grau de fissuração do elemento de viga e calculada a respectiva rigidez EI_{eq}, caso $M_{CQP} > M_r$. Com esse vetor de resultados, procede-se com a análise matricial que já resultará em resultados preliminares de flecha. Nota-se, no entanto que, ao calcular a estrutura com a rigidez real de cada elemento de viga, são obtidos outros valores de momento M_{CQP}, por isso foi implementado um método iterativo, em que o cálculo de EI_{eq} e a análise matricial são repetidos até que os resultados de momento fletor convirjam com os resultados da iteração anterior, permitindo uma margem de erro de apenas 0,001%. O programa limita em 200 iterações para eliminar os casos de não convergência que podem vir a ocorrer.

Ao utilizar a Equação 12 em métodos refinados, Sabnis *et al.* (1973) recomenda substituir o coeficiente 3 pelo valor 4. Segundo ele, o uso do coeficiente 3 pressupõe que parte do vão da viga ainda permanece no Estádio I. Portanto, ao refinar o método, torna-se possível avaliar individualmente o estágio de fissuração em cada elemento da viga, e o uso do coeficiente 4 ajusta essa consideração.

Programa Computacional AVSer

As rotinas para a determinação de flechas em estruturas de concreto armado convencional já estavam implementadas no programa AVSer, sendo acrescentadas as fórmulas necessárias para a consideração das cordoalhas ativas na estrutura.

Além das alterações de cálculo das Inércias conforme a situação da cordoalha (aderente, não aderente) e seção transversal da viga (retangular ou T), outras alterações foram necessárias. As informações para determinação da geometria dos cabos são inseridas no arquivo de entrada de dados, junto às informações referentes às armaduras passivas. No arquivo de entrada de dados são indicadas todas as informações de discretização da viga, comprimento, armadura passiva, cobrimento, carga externa, e vínculos externos. Outras informações da protensão entram na janela inicial do programa, representada na Figura 4.

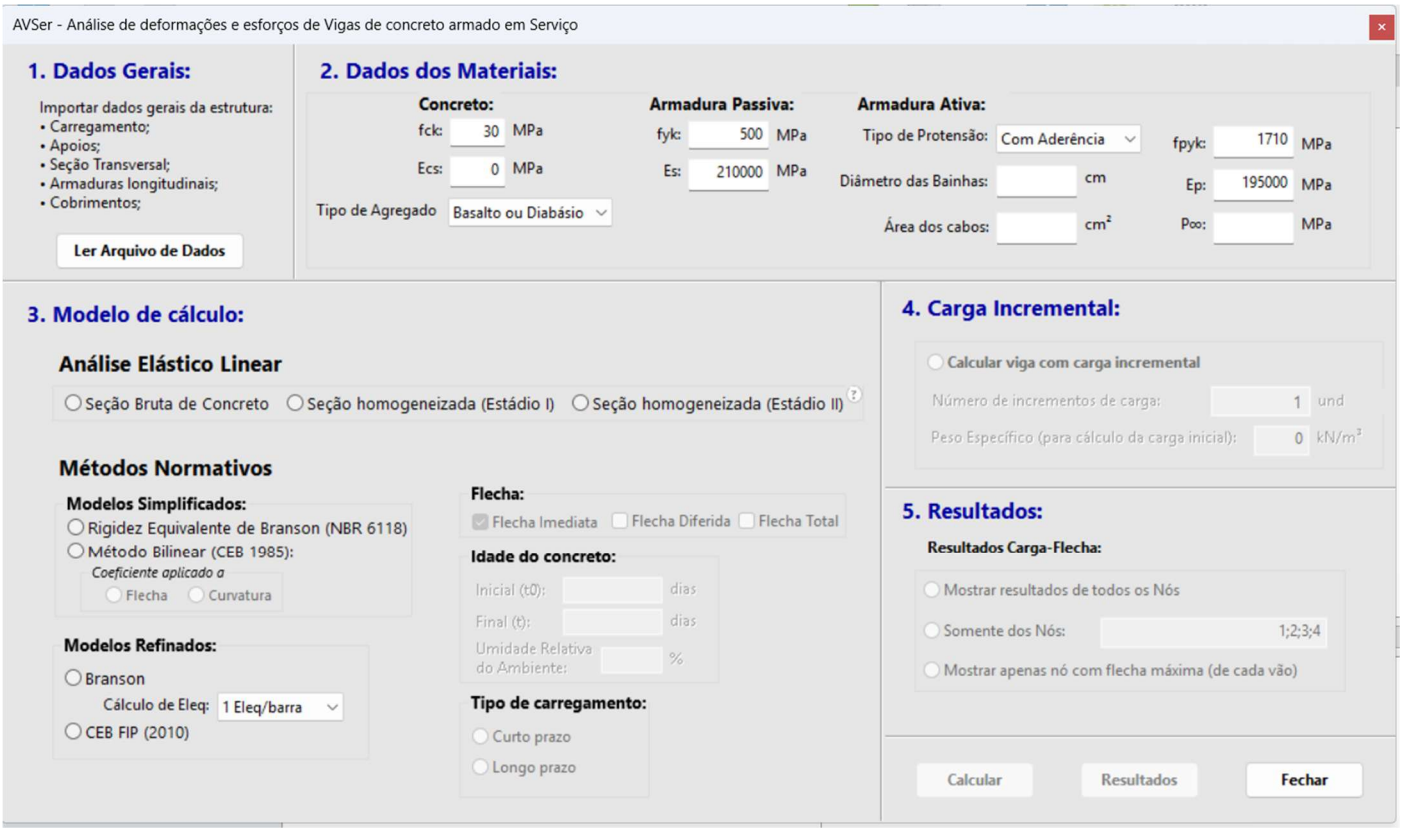

Figura 4 - Interface atual do programa AVSer. Fonte: Autor.

Resultados e discussão

Para validar a implementação do programa, foi realizada a comparação com os resultados de um cálculo manual realizado por Zanette (2006). Na Figura 5 pode-se verificar os dados das armaduras passivas e ativas, após o dimensionamento no Estado Limite Último. A disposição das cordoalhas segue o formato parabólico, como detalhado na Figura 6.

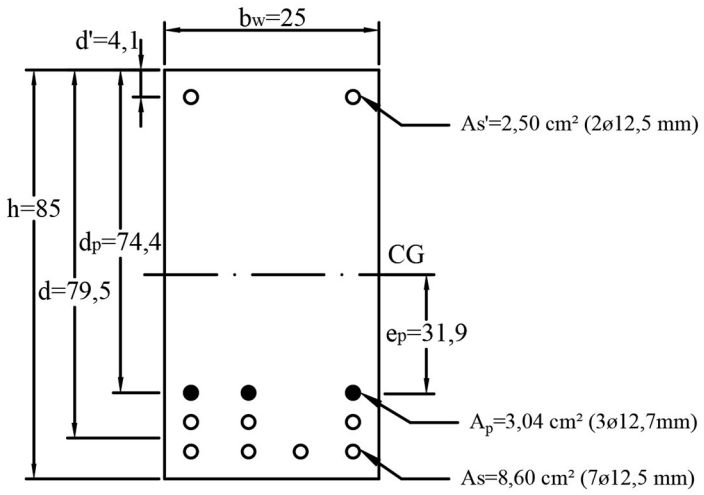

Figura 5 – Seção transversal da viga teórica de Zanette (2006). Fonte: Autor.

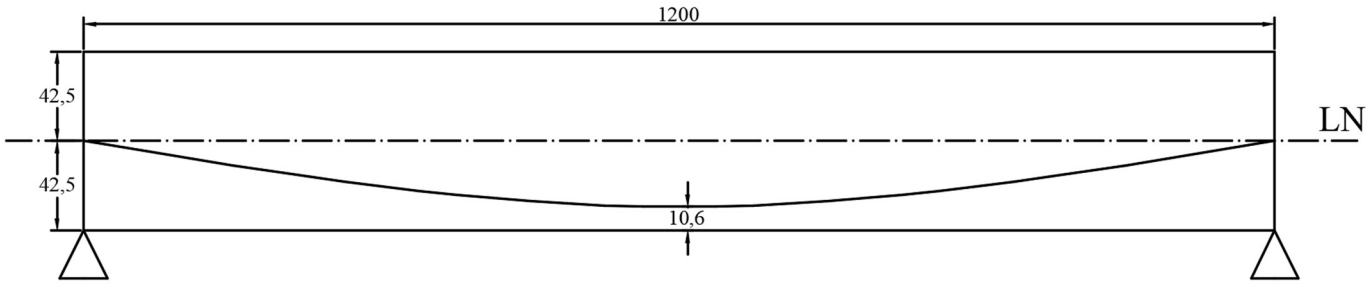

Figura 6 – Formato das cordoalhas de protensão da viga teórica de Zanette (2006). Fonte: Autor.

A viga está submetido à carga permanente $g = 15{,}0kN/m$ e carga acidental $q = 5{,}0kN/m$. Dados do concreto: $f_{ck} = 30MPa$, $E_{cs} = 26.070MPa$; Aço CA50 $f_{yd} = 435MPa$, $E_s = 210.000MPa$ e cordoalha engraxada aço CP190-RB $\phi = 12{,}7mm$, $A_p = 1{,}014cm^2$, $P_\infty = 120kN$.

Esses dados foram inseridos no programa AVSer, considerando uma discretização em elementos vigas de 10 cm cada. Os resultados calculados por Zanette (2006) e pelo programa AVSer são apresentados na Tabela 1 para o método simplificado da NBR 6118.

Tabela 1 – Resultados para a viga de Zanette. Fonte: Autor.

	Zanette	**AVSer**
Profundidade da linha neutra da seção bruta	42,5 cm	42,5 cm
Momento de Inercia da seção bruta	1.023.542 cm^4	1.023.541,7 cm^4
Profundidade da linha neutra no Estádio II	19,7 cm	19,67 cm
Momento de Inercia no Estádio II	302.976 cm^4	302.991,5 cm^4
Momento de descompressão no meio do vão	165,8 kNm	165,83 kNm
Momento de fissuração no meio do vão	270,0 kNm	270,47 kNm
Momento atuante no meio do vão	297,0 kNm	296,99 kNm
Inércia Equivalente pela Equação de Branson	670.221 cm^4	668.763,6 cm^4
Flecha imediata	1,5 cm	1,57 cm

O mesmo exemplo foi calculado com o método refinado e, os resultados de inércia para cada elemento de viga estão plotados no gráfico da Figura 7. A viga conta com 120 elementos de barra, tendo simetria a partir do elemento 60 e, para facilitar a visualização, os resultados foram restringidos dos elementos 1 a 60.

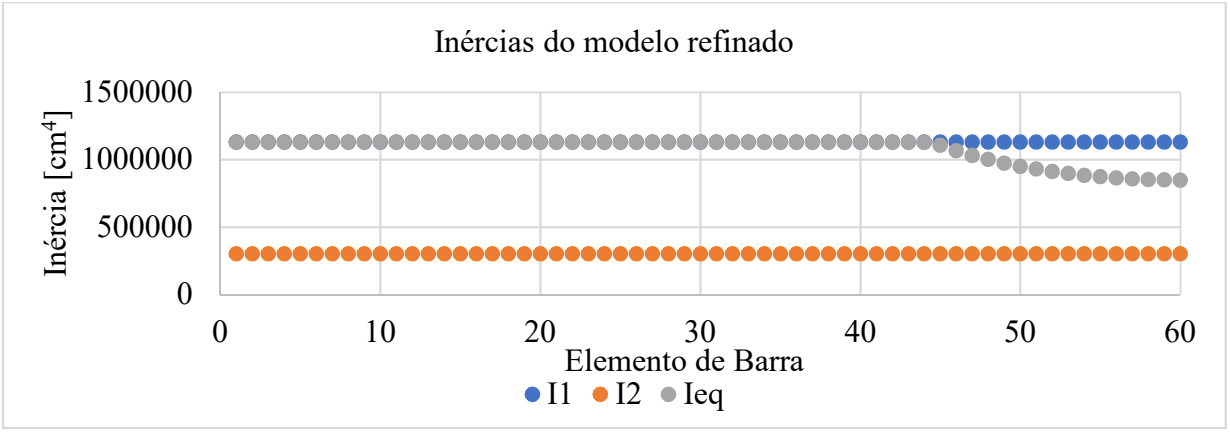

Figura 7 – Valores de inércia do modelo refinado. Fonte: Autor.

Os momentos atuantes ao longo da viga estão plotados na Figura 8, podendo constatar visualmente que a partir do elemento 45, o momento atuante supera o momento resistente, apresentando fissuras no concreto e, portanto, reduzindo a inércia da seção com a ponderação da Equação 12.

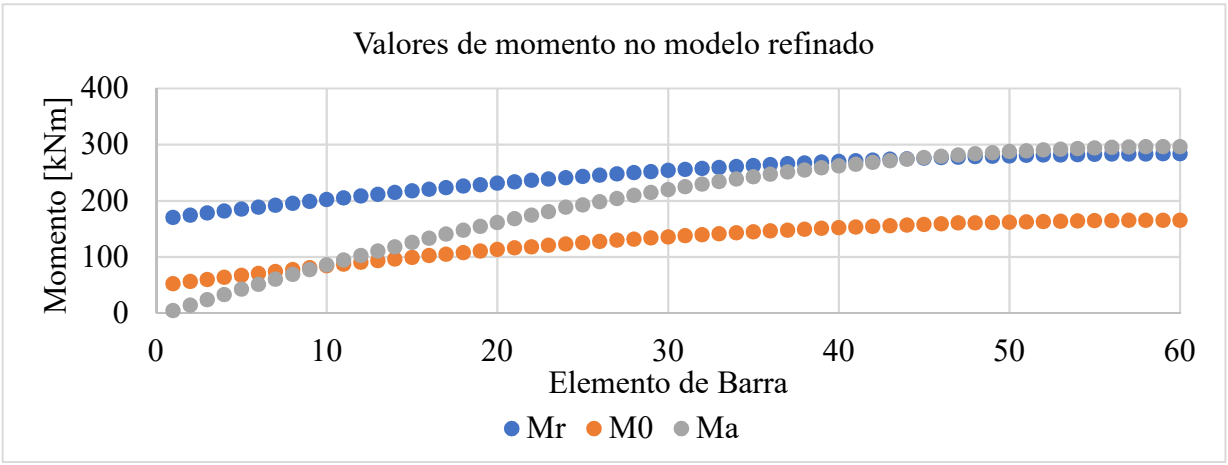

Figura 8 – Valores de momento do modelo refinado. Fonte: Autor.

Para o cálculo das flechas, adicionou-se a consideração da protensão como carga externa equivalente, cujos valores estão representados na Figura 9. Esses valores foram somados ao carregamento na Combinação Quase Permanente apenas nessa etapa, após os cálculos de rigidez equivalente, para que o valor de flecha seja calculado corretamente.

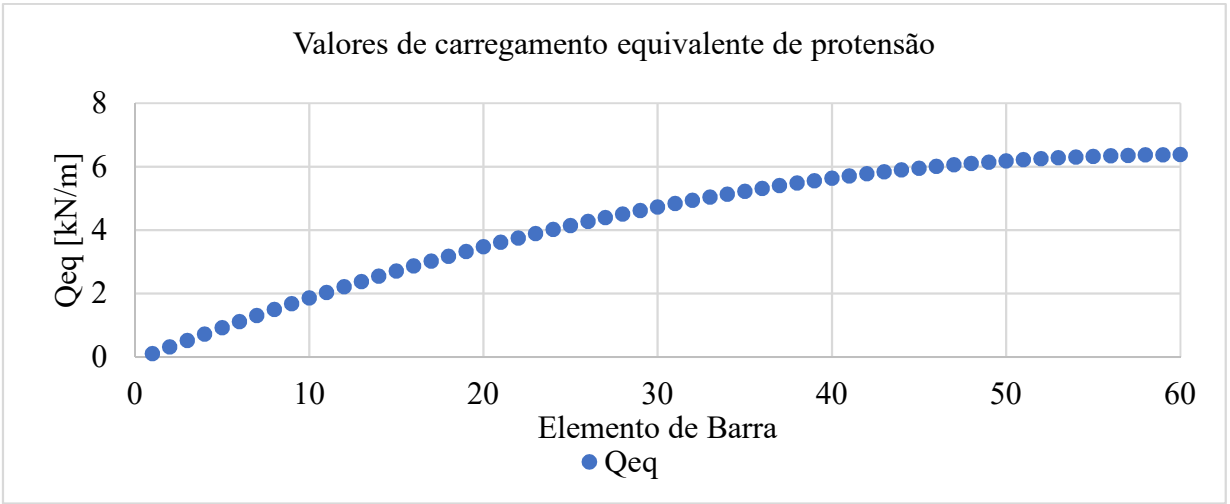

Figura 9 – Distribuição do carregamento equivalente de protensão no modelo refinado. Fonte: Autor.

Por fim, o valor de flecha imediata para a viga apresentada, através do método refinado, é 1,165 cm.

Essa mesma viga foi testada pelo programa AVSer considerando protensão com aderência, de modo que apresentou os seguintes resultados da Tabela 2 para o cálculo de flecha imediata através do método simplificado da NBR 6118.

Tabela 2 – Resultados para a viga de Zanette considerando protensão aderente. Fonte: Autor.

	AVSer
Profundidade da linha neutra da seção bruta	42,5 cm
Momento de Inercia da seção bruta	1.023.542 cm^4
Profundidade da linha neutra no Estádio II	22,09 cm
Momento de Inercia no Estádio II	369.704 cm^4
Momento de descompressão no meio do vão	165,8 kNm
Momento de fissuração no meio do vão	270,5 kNm
Momento atuante no meio do vão	297,0 kNm
Inércia Equivalente pela Equação de Branson	701.611 cm^4
Flecha imediata	1,49 cm

Verificou-se também a análise utilizando o método refinado, obtendo-se o resultado de flecha = 1,10 cm.

Conclusões

O programa AVSer se mostrou uma excelente ferramenta para o cálculo de flechas imediatas em vigas biapoiadas de concreto protendido, com os resultados por ele calculado se assemelhando muito ao modelo teórico analisado. Além disso, com ele foi possível analisar de maneira rápida os cálculos considerando aderência das cordoalhas e o modelo refinado, que apresentou para os dois casos – com e sem aderência – resultados de flechas menores que o método simplificado.

Sugestões para trabalhos futuros

Esse trabalho resultou de uma ampla pesquisa de mestrado, ao longo da qual pretende-se revisar completamente o programa AVSer, e expandir a aplicação das rotinas atualmente implementadas para as análises em vigas protendidas, tanto isostáticas como hiperestáticas, além de atualizar o método do Fib (2024) para o cálculo de vigas protendidas.

Agradecimentos

Ao programa de Pós Graduação em Engenharia Civil PPGEC da Universidade Federal do Espírito Santo.

Referências

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto. Quarta edição ed. Rio de Janeiro - RJ: 2024.

BRANSON, D. E. Design procedures for computing deflections. ACI Journal, p. 730–742, 1968.

CARNEIRO, A. L. Ferramenta computacional para o dimensionamento de vigas biapoiadas protendidas. Trabalho de Conclusão de Curso – Vitória, ES: UFES – Universidade Federal do Espírito Santo, 2020.

CRUZ, L. S.; JUNGES, E.; PELLANDA, L. C. Comparação entre métodos simplificados e refinados para o cálculo de flechas diferidas em vigas contínuas de concreto armado. XII CBPE - Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Anais...2021.

CRUZ, L. S.; PELLANDA, L. C.; JUNGES, E. Comparison between simplified and refined models for calculating deflection in rc beams. XLI CILAMCE - Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. Anais...2020.

DOMINICINI, W. K.; COELHO, L. H. Desenvolvimento de software educacional para análise e dimensionamento de estruturas em concreto protendido. Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Juiz de Fora, 2014.

FIB, FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. Model Code 2024. [s.l.] Fédération internationale du béton, 2024.

JUNGES, E. Estudo comparativo entre métodos simplificados e modelos de elementos finitos não lineares para o cálculo de flecha imediata em vigas de concreto armado. Dissertação (Mestrado)—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina - EFSC, 2011.

JUNGES, E.; ROVERE, H. L. LA. Comparison between simplified and FE models for short-term deflection in continuous RC beams. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 10, n. 2, p. 415–450, abr. 2017.

MARTINS, I. V. Dimensionamento automático de vigas protendidas biapoiadas considerando a protensão parcial. Mestrado—Vitória, ES: UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.

NAAMAN, A. E. Prestressed Concrete Analysis and Design. Third Edition ed. Arbor, Michigan: Techno Press, 2012.

SABNIS, G. M. *et al.* Deflections of Continuous Concrete Beams. ACI Journal. December, 1973.

SILVA, M. T.; LAURE, E. J.; LUCHI, L. A. R. Comparação entre modelos simplificados e refinados para cálculo de flecha de vigas T de concreto armado. 64º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais...2023.

SILVA, M. C. S. M.; LAURE, E. J. Comparison between simplified and refined models for deflection in continuous reinforced concrete T-beams. XLV CILAMCE – Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. Anais…2024.

STRAMANDINOLI, R. S. B.; ROVERE, H. L. LA. Finite Element Model for Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Beams and Plane Frames. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 10, n. 2, p. 386–414, abr. 2017.