



## **Comparação de Armadura Mínima em Vigas Protendidas em Pós-Tração Aderente com CAD e CRF**

**Fernando Machado Parizi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Parizi Engenharia/ Projetos / fernando@pariziengenharia.com.br

### **Resumo**

O presente trabalho apresenta a verificação para Armadura Mínima de vigas protendidas com pós-tração aderente utilizando Concreto de Alto Desempenho (CAD) e Concreto Reforçado com Fibras (CRF). Para tanto serão aplicadas as análises para Estado Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite Último (ELU) propostos pela NBR 6118:2014. Como a NBR 6118:2014 não faz distinção de níveis de protensão ou pós-tração aderente e não aderente, portanto não aceitando armadura ativa como armadura mínima, foi utilizado o cálculo de armadura mínima sugerido por PEREIRA e CARPINO (2016), sendo esse método recomendável somente para Vigas de pós-tração aderente e Protensão Completa, que consiste de utilizar o Momento mínimo da NBR 6118:2014. Para evitar armadura desnecessária PEREIRA e CARPINO ainda sugerem que se 90% do momento de cálculo for superior a soma do momento de fissuração e do momento mínimo a armadura mínima adicional não será necessária. Como segundo a ACI 318-14 a armadura mínima adicional é desnecessária se 90% do momento de cálculo for superior a 1,20 do momento de Fissuração. Ambos os métodos foram validados neste estudo. Foram realizados cálculos manuais e cálculos utilizando Método dos Elementos Finitos (MEF) através do software ADAPT-Floor Pro 2017. Os cálculos da influência das Fibras levam em consideração a Equivalência Estática e foram realizados somente de maneira manual, sendo esse valor comparado ao Momento de fissuração do concreto.

### **Palavras-chave**

Viga; Protendido; Pós-Tração Aderente; CAD; CRF.

## **1 Introdução**

### **1.1 Momento da Construção no Brasil**

Nos últimos anos o Brasil vive uma notada evolução no tocante ao concreto protendido, com o advento de novos materiais e de novos sistemas de cabos, a revisão da NBR 6118:2014 e principalmente a consolidação do INAE (Instituto Nacional de Estruturas Protendidas) como agente de divulgação do sistema construtivo e centralizador de pesquisa e desenvolvimento de inovações.

Cada vez mais empresas contratam projetos utilizando Concreto Protendido seja em Vigas, Lajes ou Fundações. A economia final e os ganhos com eliminação de flechas e patologias destas obras pode ser marcante, mas para tanto os projetos devem ser bem confeccionados.

Paralelo ao crescimento do Concreto Protendido e de seus estudos no Brasil acontece um processo de inovação em outros materiais. Notadamente o Concreto usinado brasileiro se encontra em um ciclo de aumento das resistências e queda de preços. O professor Oswaldo Cascudo em palestra no 21º ENECE destacou como a utilização de aditivos melhora a eficiência do cimento, aumentando a resistência do concreto enquanto utiliza menos cimento. Assim concretos de alta resistência (CAR) serão cada vez mais acessíveis.

### **1.2 A Questão da Armadura Mínima**

Entendem-se através do item 3.1.4 da NBR 6118:2014 que elementos de concreto protendido são aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão, com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura, bem como propiciar aproveitamento de aços de alta resistência no estado-limite último (ELU).

Existem diversas maneiras de classificar o concreto protendido, para CARVALHO (2017) a principal delas consiste na consideração do mecanismo de aderência entre a armadura de protensão (armadura ativa) e o concreto. Assim podemos classificar em: concreto protendido com aderência inicial (pré-tração), com aderência posterior (pós-tração aderente) e sem aderência (pós-tração sem aderência), onde valores-limites da força na armadura de protensão não podem superar os valores decorrentes da limitação das tensões no aço correspondentes a essa situação transitória.

Como a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto e pode ser avaliada de uma maneira simplificada segundo as condições de exposição da estrutura, sendo assim podem-se traçar critérios de projeto que visam à durabilidade da estrutura. Diante desse aspecto a NBR 6118:2014 mostra exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura em função das classes de agressividade ambiental em sua tabela 13.4. No tocante à fissuração do concreto protendido, que acontece com menor probabilidade, as mesmas podem ser nocivas uma vez que existe a possibilidade de corrosão sob tensão das armaduras. Embora as normativas tentem estimar uma abertura de fissura que não implique em perda de durabilidade ou perda de segurança existe ao mesmo tempo a possibilidade de monitorar fissuras reais, pois eventualmente elas podem ultrapassar os valores-limite estabelecidos.

Os níveis de protensão tem relação com a intensidade da força de protensão, que, por conseguinte são proporção da armadura ativa utilizada em relação à passiva, e basicamente a normativa brasileira trabalha com três níveis de protensão que são: Protensão Parcial (nível 1), Protensão Limitada (Nível 2) e Protensão Completa (Nível 3). Assim dependendo da classe de agressividade ambiental torna-se necessário mudar o nível da protensão bem como o mecanismo de aderência entre a armadura de protensão e o concreto, obviamente para garantir as exigências de durabilidade da estrutura. Vale ressaltar que a apresentação da tabela 13.4 da NBR 6118: 2014 é confusa e deve ser revisada para a próxima revisão da norma, explicitando melhor a relação entre Classes de agressividade e níveis e métodos de protensão.

Atualmente na NBR 6118:2014, em seu item 17.3.5.2, a armadura mínima para vigas protendidas pode ser determinada sem que haja distinção de níveis de protensão (parcial, limitada, completa) e sem levar em conta o mecanismo de aderência entre a armadura de protensão e o concreto. Essa abordagem difere do método apresentado pela ACI 318:2019 em seu item 9.6.2 uma vez que esta apresenta verificações para o cálculo da armadura mínima levando em conta o mecanismo de aderência entre a armadura de protensão e o concreto. O curioso é que a NBR 6118:2014 em sua tabela 19.1 fornece armaduras mínimas para Lajes que considera valores diferentes de valores mínimos de armadura passiva para protensão aderente e não-aderente.

PEREIRA E CARPINO (2016) propõe uma nova metodologia de avaliação da necessidade de armadura passiva mínima. Segundo este método, válido somente para Vigas com protensão aderente, caso 90% do Momento máximo de cálculo é superior a soma do Momento de fissuração e do Momento mínimo, calculado segundo o item 17.3.5.2.1 da NBR 6118:2014, a armadura mínima é dispensável.

O trabalho de PEREIRA e CARPINO (2016) comparou as três metodologias utilizando concreto de resistência convencional.

Assim o presente artigo objetivou estudar as três metodologias utilizando Concreto de Alta Resistencia (CAR) e os efeitos do aumento de resistência do concreto no cálculo das armaduras mínimas. Para tanto foi calculada Viga com pós tensão aderente e concreto de resistência à compressão de 50 MPa. Os cálculos foram realizados de forma manual e através de software de elementos finitos (ADAPT - Floor Pro 2016).

### 1.3 Concreto Reforçado com Fibras

O Concreto Reforçado com Fibras (CRF) é um material compósito, caracterizado por uma matriz cimentícia com fibras descontínuas. As fibras usuais são artificiais, podendo ser inorgânicas: aço e vidro ou orgânicas de polímeros sintéticos: polipropileno, PVA e acrílico.

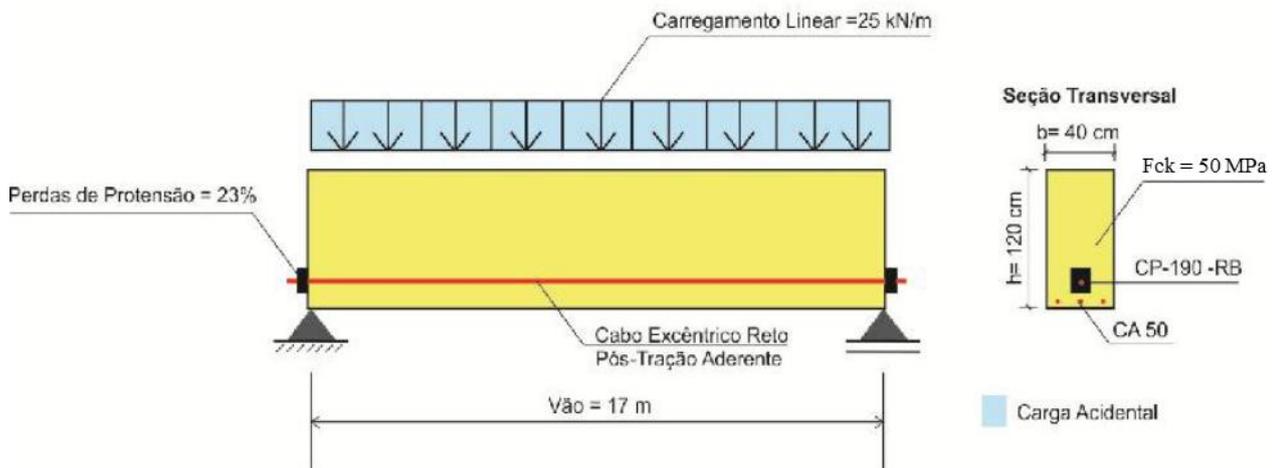
A aplicação do CRF para fins estruturais, aplicação que será trabalhada no presente artigo, implicaria no uso em projetos que consideram a resistência residual pós-fissuração proporcionada pelo reforço das fibras. Porém, no presente trabalho, o CRF será utilizado como alternativa à armadura passiva mínima em vigas de concreto protendido com pós-tensão aderente.

Para balizar a utilização do CRF, foram utilizadas a recém-publicada NBR 16935:2021 (norma publicada após a aprovação do resumo deste artigo) e notas de aula do professor Marco A. Carnio.

## 2 Metodologia

### 2.1 Cálculo do Concreto Protendido

Esse artigo adota o método exploratório através da aplicação de estudo de caso pois, conforme descrito por YIN (1989), se trata de método preciso para responder as questões “como” e “porque”. Portanto foi adotada uma viga de seção retangular, bi apoiada, representada através da figura 1, cuja classe de agressividade assumida foi a II (Urbana) sendo a utilização da viga para pontes rodoviárias.



**Figura 1 - Viga adotada (Fonte: o autor)**

Fica evidente que o dimensionamento da armadura longitudinal de flexão em concreto armado e protendido deve ser feito para atender condições dos estados limites último e de serviço, porém torna-se usual para concreto protendido dimensionar a armadura para condições de serviço e verificá-la na ruptura. Assim a figura 2 mostra os estágios de uma viga protendida referentes à ELS (Estado-Limite de Serviço) e ELU (Estado-Limite Último).

Visando facilitar o entendimento dos estágios torna-se necessário elucidar as nomenclaturas que são:

ELS-D = Estado no qual, em um ou mais pontos da seção transversal, a tensão normal é nula, não havendo tração restante na seção. Verificação usual no caso de concreto protendido.

ELS-F = Estado em que se inicia a formação de fissuras. Admite-se que este estado-limite é atingido quando a tensão de tração máxima na seção transversal for igual a  $f_{ct,f}$ .

ELS-W = Estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos especificados em 13.4.2 da NBR 6118:2014. Porém para esse caso não será verificada essa condição uma vez que não teremos protensão parcial.

ELU = Estado-Limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura.

Levando em conta a tabela 13.4 da NBR 6118:2014 e os critérios de projeto já comentados, existe a necessidade de verificação da viga considerando protensão limitada e protensão completa. Para tanto serão realizadas quatro verificações:

Protensão limitada (nível 2) para ELS-F em Combinação Frequente.

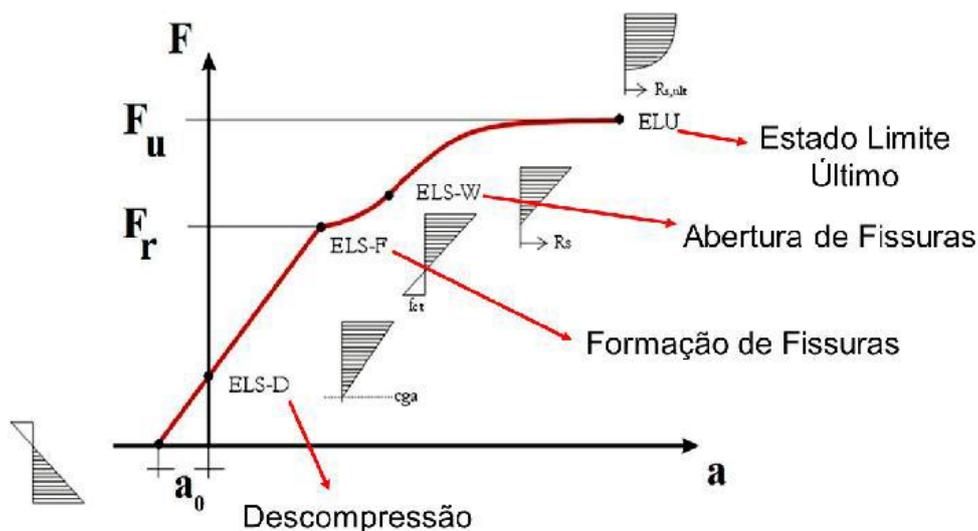
Protensão limitada (nível 2) para ELS-D em Combinação Quase Permanente.

Protensão completa (nível 3) para ELS-F em Combinação Rara.

Protensão completa (nível 3) para ELS-D em Combinação Frequente.

CHOLFE (2017) introduz as perdas de Protensão mencionando que a força de protensão é o elemento fundamental das peças de concreto protendido e que ela aplicada através da armadura ativa, depende de componentes físicos como o aparelho tensor, as bainhas com sua geometria e ancoragens terminais. Depende também do comportamento intrínseco dos materiais aço e concreto cujo projeto deve prever as perdas da força de protensão em relação ao valor inicial ( $P_i$ ) aplicado no aparelho tensor, ocorridas antes da transferência da protensão ao concreto (perdas iniciais de pré-tração), durante essa transferência (perdas imediatas) e depois, ao longo do tempo, durante a vida útil da estrutura (perdas progressivas). Assim pode-se calcular a força  $P_0$  com relação as perdas imediatas e também a força  $P_\infty$  após as perdas progressivas. Diante da complexidade do assunto e por não ser o foco do artigo adotou-se as perdas de protensão totais em

23%, valor que corrobora com os encontrados em bibliografias e pode ser visto de uma maneira mais completa através de FREITAS (2018).

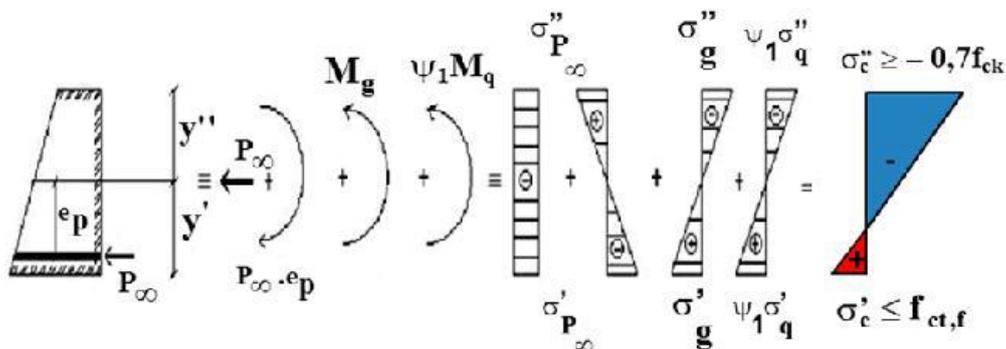


**Figura 2 - Estágios de uma Viga Protendida no ELS e ELU (PEREIRA E CARPINO (2016))**

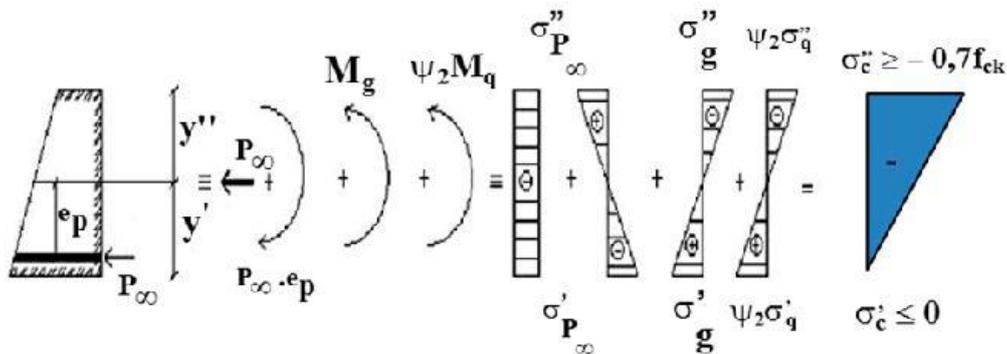
A NBR 6118:2014 específica no item 9.6.1.2.1 os valores-limites por ocasião da operação de protensão, que para pós-tração por ocasião da aplicação da força  $P_i$ , a tensão  $\sigma_{pi}$  da armadura de protensão na saída do aparelho de tração deve respeitar os limites 0,74  $f_{ptk}$  e 0,87  $f_{pyk}$  para aços da classe de relaxação normal e 0,74  $f_{ptk}$  e 0,82  $f_{pyk}$  para aços da classe de relaxação baixa, como pode ser observado na figura 1 o presente estudo utiliza aço Relaxação Baixa. Ao término da operação de protensão, a tensão  $\sigma_{p0}(x)$  da armadura pré-tracionada ou pós-tracionada, decorrente da força  $P_0(x)$ , não pode superar os limites estabelecidos em 9.6.1.2.1-b da NBR 6118:2014. Vale lembrar que a cordoalha utilizada no artigo foi a CP-190RB, ou seja, com  $f_{ptk}$  de 1900 MPa e  $f_{pyk}$  de 1700 MPa de baixa relaxação, que respeita as especificações da NBR 7483:2008.

A NBR 8681:2003 fixa os requisitos exigíveis na verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil e estabelece as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações, quaisquer que sejam sua classe e destino. Assim, devemos aplicar os fatores de redução  $\Psi_1$  e  $\Psi_2$  referentes às combinações de serviço, que no nosso caso são 0.5 e 0.3, respectivamente.

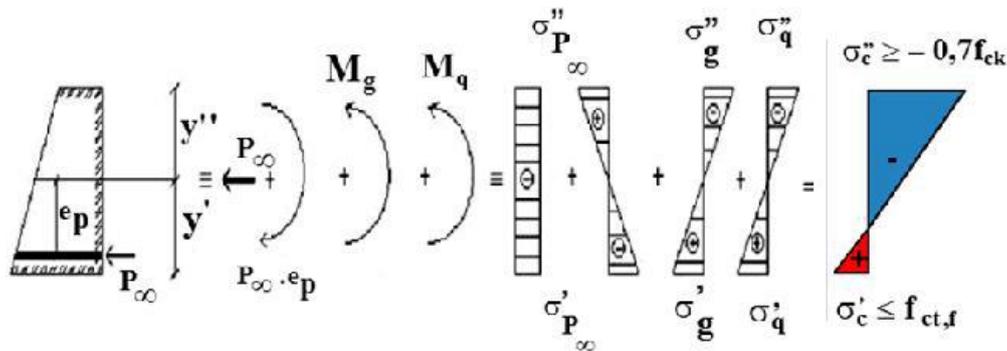
Para a viga estudada as condições de carregamento, as combinações necessárias e os critérios a serem respeitados estão na figura 3 a 6 abaixo:



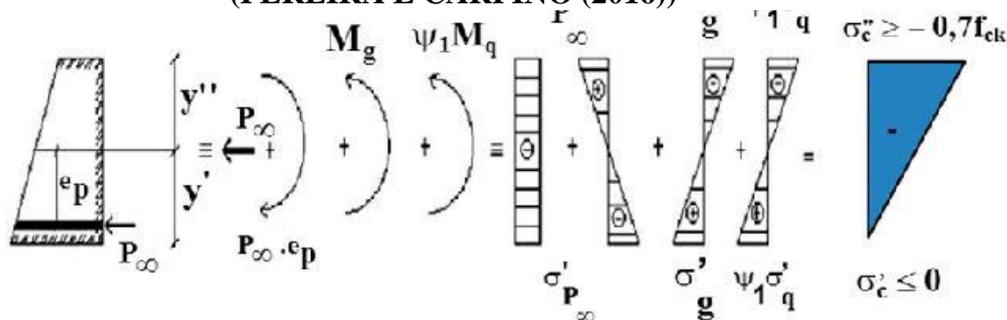
**Figura 3 – Verificação ELS-F - Combinação Frequente, Protensão Limitada (PEREIRA E CARPINO (2016))**



**Figura 4 – Verificação ELS-D - Combinação Quase Permanente, Protensão Limitada (PEREIRA E CARPINO (2016))**



**Figura 5 – Verificação ELS-F - Combinação Rara, Protensão Completa (PEREIRA E CARPINO (2016))**



**Figura 6 – Verificação ELS-D - Combinação Frequente, Protensão Completa (PEREIRA E CARPINO (2016))**

Nota-se também a importância de verificar o ELS-CE (Estado Limite de Serviço – Compressão Excessiva) que verifica se, em algum ponto da viga, a Compressão gerada pela protensão supera os valores de resistência do concreto.

Os cálculos, inicialmente, foram realizados de maneira manual. Para ampliar a confiabilidade dos resultados o cálculo também foi realizado utilizando uma ferramenta computacional para verificação das análises estruturais. A ferramenta computacional escolhida foi o ADAPT-Floor Pro 2016, programa computacional desenvolvido para análise avançada e detalhada de estruturas em concreto armado e/ou protendido que utiliza do Método dos Elementos Finitos (MEF) para realização do Cálculo.

## 2.2 Armadura Mínima

Segundo a NBR 6118:2014 a ruptura frágil das seções transversais, momento da formação da primeira fissura, deve ser evitada considerando-se, para o cálculo das armaduras, um momento mínimo dado pelo valor correspondente ao que produziria a ruptura da seção de concreto simples, supondo que a resistência à tração do concreto seja dada por  $f_{ct,sup}$ . Seguindo a premissa da normativa brasileira citada acima em seu item 17.3.5.2.1 a armadura mínima de tração, em elementos estruturais armados ou protendidos deve ser determinada pelo dimensionamento da seção a um momento fletor mínimo dado pela expressão da equação 1 abaixo, respeitada a taxa mínima absoluta de 0.15%.

$$M_{d,min} = 0,8 \times W_0 \times f_{ctk,sup} \quad (1)$$

Onde:

$M_{d,min}$  = Momento mínimo em kN\*m

$W_0$  = módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada em m<sup>3</sup>

$f_{ctk,sup}$  = resistência característica superior do concreto à tração em MPa

Já na ACI 318:2019 em seu item 9.6.2 existe claramente uma diferenciação no cálculo da armadura mínima para protensão aderente e não aderente, além da consideração para diversos elementos estruturais protendidos. Assim para vigas protendidas aderentes a quantidade total de  $A_s$  e  $A_{ps}$ , deve ser adequada para desenvolver uma carga majorada de até 1.2 vezes a carga de fissuração calculada com base no  $f_r$ , lembrando que  $A_s$  é a armadura passiva,  $A_{ps}$  a armadura ativa e  $f_r$  o módulo de ruptura do concreto. Essa condição pode ser verificada de acordo com a equação 2.

$$\phi M_d \geq 1,2 \times M_r \quad (2)$$

Onde:

$\phi$  = fator de redução = 0.9 (elemento tracionado)

$M_d$  = Momento máximo de cálculo em kN\*m

$M_r$  = Momento de fissuração em kN\*m

$$M_r = f_r \times W_0 \quad (3)$$

$$f_r = 7,5 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \quad (4)$$

Onde:

$f_r$  = módulo de ruptura do concreto em PSI

$\lambda$  = fator de correção, para concretos de peso normal igual a 1

$f_c'$  = resistência a compressão do concreto em PSI

É importante observar que para a obtenção do módulo de ruptura  $f_r$  a equação 4 deve ser utilizada em PSI e somente transformada ao fim.

Para vigas com protensão não aderente, o mínimo de área no reforço passivo longitudinal  $A_{s,min}$  pode ser encontrado na equação 5.

$$A_{s,min} = 0,004 \times A_{ct} \quad (5)$$

Onde:

$A_{ct}$  = parte da área da seção transversal entre face tracionada e o centroide da seção bruta em m<sup>2</sup>

Levando em consideração as duas normativas citadas fica evidente que a NBR 6118:2014 impõe o uso de uma armadura mínima e a ACI 318:2019 deixa uma verificação conforme a equação (2) que caso seja satisfeita não há a necessidade de colocação da armadura passiva mínima.

PEREIRA e CARPINO (2016) sugerem outra análise que pode ser utilizada levando em conta tanto o momento de fissuração quanto o momento mínimo, e pode ser vista através da equação 6.

$$\phi M_d \geq M_r + M_{d,min} \quad (6)$$

Onde:

$\phi$  = fator de redução = 0.9 (elemento tracionado)

$M_d$  = Momento máximo de cálculo em kN\*m

$M_r$  = Momento de fissuração em kN\*m

$M_{d,min}$  = Momento mínimo (de acordo com a equação (1)) em kN\*m

Caso a Equação 6 seja satisfeita não haveria necessidade de colocação de armadura passiva mínima. É importante ressaltar que essa condição só é válida para Protensão Aderente. Uma vez que mesmo em caso de perda da força de protensão a armadura ainda iria atuar como armadura passiva (normalmente numa taxa superior a solicitada pela equação 5 ou nos 0,15% da NBR 6118:2014). Já para protensão não-aderente existe o risco do escorregamento das cordoalhas por dentro da bainha e perda de toda a armadura, não podendo assim ser considerada como armadura passiva em caso de perda da protensão.

### 2.3 Cálculo do CRF

O modelo de cálculo para dimensionamento utilizando CRF utiliza a Equivalência estática, logo o valor da força resistente à Tração direta do CRF,  $f_{Ftu}$ , deve ser equivalente ao Momento aplicado na peça. Neste estudo o CRF é utilizado em conjunto com protensão aderente, assim a equivalência a ser utilizada para a Força do CRF será com o Momento de fissuração.

$$f_{Ftu} = f_r / 3 \quad (7)$$

O estudo obteve:  $f_r = 4,4\text{MPa}$ , logo a Resistência à Tração direta do CRF,  $f_{Ftu}$ , será de 1,47 MPa. Este valor se trata do valor característico de resistência do CRF, sendo utilizada a Equação 8 para cálculo do valor médio:

$$f_{Ftu} = 0,7 \times f_{Ftu, m} \quad (8)$$

Utilizando a resistência característica, será especificado o CRF a ser utilizado.

Logo,  $f_{Ftu, m}$  será de 2,1 MPa.

Considerando a utilização de Fibras de Aço, é indicada a mistura de 45 quilogramas de fibra de aço para cada metro cúbico de concreto para a obtenção desta resistência.

### 3 Resultados

Através dos resultados obtidos tanto pelo cálculo manual, quanto pela utilização de Software foi gerada a Tabela 1 abaixo:

**Tabela 1 - Tensões na Viga (compressão indicada como negativa e tração como positivo)**

Nível de Protensão	Combinação	Estado Limite	Cálculo Manual			Cálculo Adapt			Variação
			P <sub>∞</sub>	Borda Inferior (σ')	Borda Superior (σ'')	P <sub>∞</sub>	Borda Inferior (σ')	Borda Superior (σ'')	
			(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
Limitada	Frequente	ELS-F	658.9	4.07	-6.82	630.0	2.83	-3.31	-4.59%
	Quase-per	ELS-D	939.3	0.00	-3.91	945.0	-0.32	-2.67	0.61%
Completa	Frequente	ELS-D	1180.1	0.00	-4.92	1155.0	-0.32	-3.30	-2.17%
	Rara	ELS-F	1261.0	4.07	-9.33	1260.0	2.04	-4.65	-0.08%
Limitada	Normal	ELU	1261.0	4.07	-9.33	1260.0	2.19	-4.55	-0.08%
Completa	Normal	ELU	1782.2	0.00	-7.43	1785.0	-0.33	-4.55	0.16%

Na verificação do ELU para protensão limitada teríamos 12 cordoalhas  $\varnothing$  12,7mm + 9,37cm<sup>2</sup> de armadura passiva CA 50 ou seja 3 barras de  $\varnothing$  20mm, valor maior que a armadura mínima absoluta de 0,15% que exigiria somente 7,2cm<sup>2</sup>. Já para o cálculo com Protensão Completa seriam usadas 17 cordoalhas  $\varnothing$  12,7mm sem necessidade de armadura passiva no combate dos esforços.

Como visto anteriormente neste artigo, a não utilização de armadura passiva não é permitido pela NBR 6118:2014 e carece de verificações pela ACI 318:2019.

Para NBR 6118:2014 temos  $\rho_{min} = 0,15\% = 7,2\text{cm}^2$ .

Utilizando as Equações 3 e 4 obtém-se:  $M_r = 422,4\text{kN}\cdot\text{m}$

Pela ACI 318:2019 é realizada a verificação utilizando a equação 2:

Sendo:

$M_d = 1.871,27\text{kN}$

$$0,9 \cdot 1871,27\text{kN}\cdot\text{m} > 1,2 \cdot 422,4\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$1684,15\text{kN}\cdot\text{m} > 506,88\text{kN}\cdot\text{m} \text{ (Ok!)}$$

Assim, no exemplo analisado não seria necessária a aplicação de armadura passiva mínima adicional segundo a ACI 318:2019.

Seguindo a verificação para o método proposto por PEREIRA e CARPINO (2016), utilizando a equação 6 e sabendo que  $M_{d,min}$  é igual a 406kN\*m, obtém-se:

$$\phi M_d \geq M_r + M_{d,min}$$

$$0,9 \cdot 1871,27\text{kN}\cdot\text{m} > 422,4\text{kN}\cdot\text{m} + 406\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$1684,15\text{kN}\cdot\text{m} > 828,7\text{kN}\cdot\text{m} \text{ (Ok!)}$$

No presente estudo o método de verificação proposto por PEREIRA e CARPINO obteve o mesmo resultado de não necessidade de utilização de armadura passiva mínima adicional. Porém os valores a serem comparados com o momento máximo são 63,5% superiores ao método do ACI, logo muito mais propensos a não permitirem a não utilização de armadura passiva mínima adicional.

Ao considerar a substituição da Armadura mínima por Fibras de Aço, foi obtida a necessidade de utilização de 45 kg/m<sup>3</sup>. Considerando que a taxa de armadura mínima calculada foi de 7,2cm<sup>2</sup>, equivalente a 96,1 kg ao longo da viga. Considerando que a viga utiliza 8,16 m<sup>3</sup> de concreto, este teor de fibra resultaria na aplicação de 367 kg de fibra, equivalente à 382% da armadura mínima de norma.

#### 4 Conclusões

Foram realizados os cálculos para a viga protendida de seção retangular, verificando o Estados-Limite de Serviço (ELS) e Estado-Limite Último (ELU), sistema pós-tração aderente com o uso de protensão limitada e protensão completa, com cálculos manualmente e pelo software ADAPT-Floor Pro 2016 utilizando de CAR de 50MPa e de acordo com NBR 6118:2014 obtendo-se resultados equivalentes e próximos. Assim pode-se concluir que o software apresentou resultados confiáveis quando a modelagem estrutural foi válida, ressaltando que o ADAPT, apesar de ser um produto norte-americano, contém as combinações e critérios da norma brasileira.

Foi constatado que a utilização do concreto de maior resistência permite armadura ativa menor que o usual quando se tratou da avaliação de Estado limite de serviço de abertura de Fissuras e Estado limite último com Protensão limitada, não obtendo ganho algum de performance quando estudados os outros estados limites.

Constatou-se que para o cálculo da armadura mínima passiva em vigas de acordo com a NBR 6118:2014 não existe uma distinção entre utilização de protensão aderente e não aderente, já na ACI 318-19 existe tal separação, com equações distintas para cada caso.

Na NBR 6118:2014 embora o  $M_{d,min}$  possa ser utilizado para calcular a armadura mínima existe a taxa mínima absoluta de 0.15% que deve ser respeitada.

Pode-se afirmar que as abordagens através da ACI 318:2014 e da equação sugerida por PEREIRA e CARPINO demonstraram resultados muito distantes, diferindo em 63,5%, o que mostra que a equação sugerida não deve se tornar um parâmetro de referência.

Com relação aos níveis de protensão fica evidente que tanto a equação 2, que provém da ACI 318:2019, quanto a equação 6 proposta por PEREIRA e CARPINO devem ser utilizadas preferencialmente para protensão completa, onde a força de protensão torna-se maior aproveitando de maneira mais eficiente o aço de protensão.

Conforme demonstrado neste artigo, a utilização de Fibras em substituição à armadura mínima não apresenta valores factíveis, exigindo a adição grandes quantidades de fibra (367 kg de fibra de aço contra 96,1 kg de aço CA-50).

Diante de todo contexto o autor possui o desejo de validar os cálculos teóricos aqui apresentados para armadura mínima transformando-a em experimental num futuro próximo através de ensaios em laboratório.

## 5 Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO: PROCEDIMENTOS, NBR 6118:2014**. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **CORDOALHAS DE AÇO PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO – ESPECIFICAÇÃO, NBR 7483:2008**. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **AÇÕES E SEGURANÇA NAS ESTRUTURAS - PROCEDIMENTO, NBR 8681:2003**. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS - PROCEDIMENTO, NBR 16935:2021**. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318-19 REPORTED BY ACI COMMITTEE 318. BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE**. Farmington Hills, ACI, 2019.

BIIJAN, O. A.. **Post-Tensioned Buildings - Design and Construction**. Palo Alto, Adaptsoft, 2014.

CARNIO, M. A.. **Estruturas de Concreto com Fibras** – notas de aula. São Paulo, ABECE, 2019.

CARVALHO, R. C.. **Estruturas em Concreto Protendido** – cálculo e detalhamento. São Paulo, PINI, 2017.

CHOLFE, L.. **Concreto Protendido** – teoria e prática. São Paulo, PINI, 2017.

DOLAN, C. W. **Prestressed Concrete** – Building, Design, and Construction. Laramie, Springer, 2019.

FREITAS, M. P., et al.. Análise das Perdas de Protensão em Vigas de Concreto Protendido Pós-Tracionadas, **X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**. Rio de Janeiro, ABECE, 2018.

PEREIRA, K. R., et al.. Nova Abordagem para Verificação da Armadura Mínima em Vigas Protendidas Pós-Tração Aderente, **IX Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**. Rio de Janeiro, ABECE, 2016.