

## PERDAS EM VIGAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO PROTENDIDO

LUCAS RODRIGUES FONSECA PESSOA<sup>1</sup>, TATIANA BITTENCOURT DUMÊT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eng. Lucas Rodrigues Fonseca Pessoa, UFBA, Salvador-BA, lucasrpf55@gmail.com;

<sup>2</sup>Dra. Tatiana Bittencourt Dumêt, UFBA, Salvador-BA, tbdumet@ufba.br;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
7 a 10 de outubro de 2024

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo apresentar disposições sobre vigas pré-moldadas e a utilização de concreto protendido na fabricação desses elementos. Mais especificamente, aborda-se as perdas em vigas pré-moldadas confeccionadas com protensão. Os princípios e normas que regem o dimensionamento de peças executadas pelo método construtivo da protensão são analisados sob a ótica da produtividade e dos requisitos da indústria de pré-moldados, com foco nas perdas em peças pré-tracionadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estruturas. Desenvolvimento tecnológico. Construção civil. Produtividade. Propriedades dependentes do tempo do concreto.

### PRESTRESS LOSSES IN PRECAST PRESTRESSED BEAMS

**ABSTRACT:** This study aims to provide information about precast beams and the use of prestressed concrete in the manufacturing of these elements. Specifically, it addresses the prestress losses in precast beams produced using prestressing methods. The principles and codes that guide the dimensioning of prestressed elements are analyzed from the perspective of productivity and the requirements of the precast industry, focusing on losses in pre-tensioning

**KEYWORDS:** Structures. Technological development. Civil Construction. Productivity. Concrete Time-dependent properties.

### INTRODUÇÃO

Os princípios do concreto protendido resultam da combinação da capacidade estrutural do aço e do concreto. Para compreendê-los, é necessário conhecer as propriedades desses materiais. O concreto, como é notório, apresenta alta resistência à compressão, mas resistência à tração relativamente baixa. Por outro lado, os materiais compostos por liga de ferro e carbono têm alta resistência à tração.

Devido à natureza de seus elementos constituintes, uma viga usual de concreto armado suporta cargas através de tensões que comprimem a parte superior da seção transversal. No entanto, submetida a um momento fletor positivo, pode apresentar fissuras. Para mitigar esse comportamento, barras de aço são adicionadas na região sujeita à tração, resistindo aos esforços que o concreto não suporta e controlando a fissuração.

O concreto protendido é uma forma de concreto armado que incorpora uma tensão prévia no sistema através de cabos de protensão. Isso significa que essas peças estruturais estão sujeitas a tensões internas provocadas pelo estiramento do aço, visando diminuir as tensões finais de tração. Assim, as tensões aplicadas previamente pela armadura ativa ajudam a limitar a abertura de fissuras, reduzindo os efeitos da baixa resistência à tração do concreto.

Além disso, a protensão pode ser utilizada para solidarizar partes de concreto armado, transformando essas partes menores em um componente íntegro. Essa característica torna possível o uso de elementos pré-moldados, incluindo peças com orifícios tubulares que permitem a passagem dos cabos de protensão.

Embora o conceito de protensão seja simples, ele permite a construção de grandes vãos, que podem ser exigidos pela arquitetura ou pela necessidade de estruturas complexas, que requerem soluções técnicas mais qualificadas. O conceito de protensão já é utilizado há séculos, mas sua aplicação confiável em estruturas começou no início do século XX. Apesar das primeiras tentativas de execução de estruturas protendidas, uma ampla aplicação do sistema não era possível devido a limitações

tecnológicas. Superadas essas limitações, e garantidas a segurança e a economia, o concreto protendido ganhou impulso comercial a partir de 1940 na Europa. Desde 1960, seu uso na construção de pontes tornou-se comum em muitos estados dos EUA. No Brasil, a primeira ponte a utilizar estrutura protendida foi construída em 1950, mas sua aplicação em edifícios só ocorreu a partir de 1980, com o desenvolvimento da cordoalha engraxada da ArcelorMittal, antiga Belgo Mineira.

O setor de concreto pré-moldado, por sua vez, ficou concentrado nas mãos de poucas empresas por um longo período, o que retardou sua disseminação e pode ter dificultado a evolução do setor. O crescimento do uso de concreto pré-moldado no Brasil ocorreu apenas nas décadas de 1960 e 1970, sendo freado a partir da crise na construção civil nos anos 1980. (Concreto & Construções, 2015)

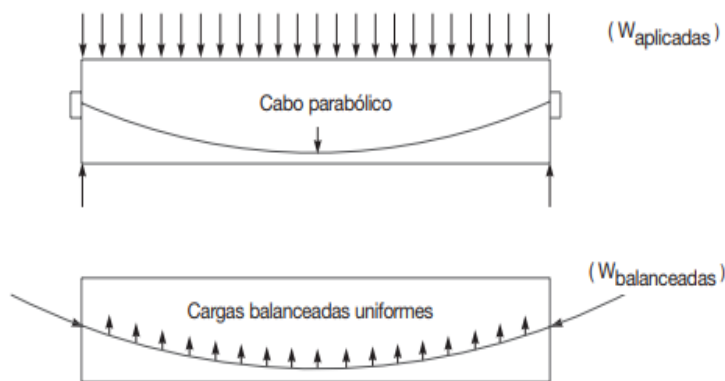
## CONCRETO PROTENDIDO

Segundo Ishitani e Leopoldo (2002), “Tecnicamente, o concreto protendido é um tipo de concreto armado no qual a armadura ativa sofre um pré-alongamento, gerando um sistema autoequilibrado de esforços (tração no aço e compressão no concreto).” Isso o diferencia do concreto armado, proporcionando melhor desempenho diante das cargas externas a que estará submetido.

“Concreto protendido é o concreto armado ao qual se acrescenta mais um carregamento através de cabos de protensão. São peças de concreto, tais como vigas e lajes, nas quais tensões internas são induzidas por meio de aço de protensão.” (Cauduro, 2002)

Para Cauduro (2002), “Um conceito útil é visualizar a protensão como uma tentativa de balancear as cargas sobre um componente da estrutura.” Um componente, como uma viga, que sofre a ação de seu peso próprio e de uma carga uniformemente distribuída ( $W_{aplicada}$ ), ou apenas seu peso próprio, apresenta flecha para baixo. Com a colocação de cabos tracionados nesse componente, que têm traçados parabólicos, eles exercem uma carga uniforme para cima ( $W_{balanceada}$ ), como exemplificado na Figura 1.

**Figura 1: Conceito de forças em um componente em concreto protendido**



Fonte: CAUDURO (2002)

Segundo a NBR 6118:2014, os elementos de concreto protendido são aqueles em que, pelo menos, parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos de protensão, com a finalidade de impedir ou limitar fissuração e deslocamentos da estrutura, propiciando melhor aproveitamento de aços de alta resistência no Estado Limite Último (ELU).

Como explicitado em Bastos (2018) e Hanai (2005), nas verificações de segurança das estruturas de concreto protendido, deve-se tomar como referência a NBR 8681:2003, considerando o Estado Limite Último (ELU) e o Estado Limite de Serviço (ELS).

Ao contrário do dimensionamento das estruturas usuais de concreto armado, o dimensionamento do concreto protendido é feito a partir do ELS. Somente após as verificações pertinentes a esse Estado Limite é que são analisadas as solicitações normais para o Estádio III, considerando o pré-alongamento

(armadura previamente tracionada) e as solicitações tangenciais (calculadas como para o concreto armado, mas também considerando os efeitos da força de protensão).

Para projetar uma peça de concreto protendido, não há apenas um Estado Limite de Serviço a se considerar. A NBR 6118:2014 define os Estados existentes e, com base neles, é possível determinar um valor para a força de protensão, correspondente à força que permanecerá aplicada à peça após todas as perdas serem consideradas, atendendo aos requisitos da estrutura durante toda a sua vida útil. O processo para o cálculo dessa força parte dos Estados Limites de Serviço (Hanai, 2005; Bastos, 2018).

Inicialmente, o valor das perdas é estimado para determinar a armadura ativa necessária e, posteriormente, a força de protensão final efetiva. A estimativa é feita a partir de parâmetros como: ações sobre a estrutura, características dos materiais, geometria da peça, esforços devido às cargas permanentes e variáveis a que a estrutura estará sujeita, grau de protensão e estimativa das perdas de protensão imediatas e progressivas, determinadas com base na experiência do projetista. Nas situações usuais da prática, admite-se que as tensões de tração causadas pelos carregamentos externos que ocorrem na borda inferior do elemento podem ser consideradas como o peso próprio, carregamento permanente adicional e cargas variáveis. Essas tensões serão equilibradas pela tensão gerada pela força de protensão que permanece aplicada após a consideração das perdas (Bastos, 2018).

Segundo a NBR 9062:2017, a capacidade de elementos pré-moldados deve ser determinada pela resistência dos elementos que compõem o concreto protendido e não pelo esgotamento das ligações. Diferentemente do concreto moldado *in loco*, algumas fases intermediárias devem ser verificadas para estruturas pré-fabricadas, como manuseio, transporte, estocagem e montagem (elevação). Para esses estágios intermediários de verificação, também devem ser analisados os efeitos desfavoráveis dos ajustes das ações e solicitações. É crucial verificar a segurança da peça e garantir que o elemento esteja corretamente apoiado, conforme previsto no projeto, prevendo, se necessário, dimensionamentos específicos para essas etapas.

Mesmo nas disposições da NBR 9062:2017 para concreto pré-moldado, muitas recomendações da NBR 6118:2014 ainda se aplicam. Itens como o cálculo dos esforços solicitantes, influência das ações, cargas permanentes e acidentais, combinações de esforços, efeitos da fluência e retração do concreto, relaxação do aço e força de protensão devem ser analisados conforme prescrito na norma de projetos de estrutura de concreto. Nas fases intermediárias, as peças devem apresentar rigidez suficiente para evitar deformações e fissurações excessivas que possam prejudicar a resistência estrutural. A rigidez lateral que satisfaça essas condições pode ser alcançada pela forma da peça ou por acessórios de travamento (como protensão temporária, por exemplo) durante o manuseio e montagem.

Segundo a Norma Brasileira de Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado (2017), “na determinação das características das seções transversais [...] quando se tratar de protensão com armadura aderente, deve ser adotada a seção homogeneizada calculada com relação à equivalência.” O módulo de elasticidade do concreto é calculado considerando o valor correspondente à sua idade. Portanto, as perdas de protensão devem levar em conta as características do concreto na idade de análise e da seção já homogeneizada.

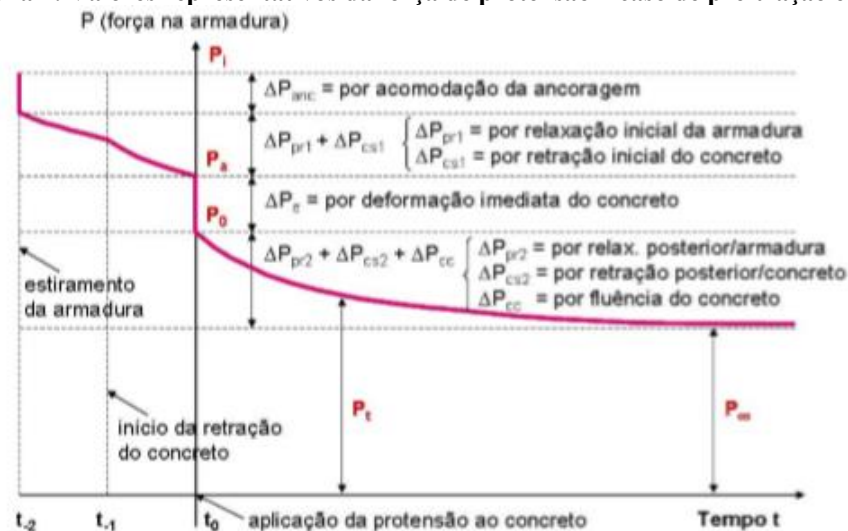
Para a execução em casos de protensão anterior à concretagem, os cabos devem ser tensionados progressivamente até atingir o valor de projeto, podendo ser protendidos individualmente ou em conjunto. As perdas de tensões previstas em projeto devem estabelecer os limites que ocorrem no momento da protensão e são evitadas, também, pela rigidez dos sistemas de ancoragem, sejam eles fixados nas formas ou em apoios independentes. A verificação das cargas é realizada pela medida da força aplicada e pelo alongamento do cabo, simultaneamente. Portanto, todos os aparelhos utilizados devem estar calibrados e operando corretamente (NBR 9062:2017).

As vigas executadas com protensão podem passar por esse processo com aderência inicial ou posterior, ou ainda sem aderência. Segundo Carvalho (2012), o método mais comumente utilizado no Brasil em elementos pré-moldados é o da pré-tração, ou seja, com aderência inicial. Por esse motivo, as perdas inerentes ao sistema de pré-tração têm grande impacto nessas peças. As perdas são ponto fundamental e crítico no projeto de protensão de vigas, pois é preciso conhecer os esforços de protensão que atuam em todo o comprimento da peça. As perdas são um ponto fundamental e crítico no projeto de protensão de vigas, pois é necessário conhecer os esforços de protensão que atuam em todo o

comprimento da peça. Esses esforços não são constantes, devido, justamente, a essas perdas, que se distribuem com intensidades diferentes e por causas distintas ao longo da estrutura.

A diminuição da força de protensão se apresenta de maneiras variadas, devido às condições particulares da pré-fabricação de vigas com protensão, aliadas às características inerentes ao método empregado. No caso de vigas pré-tracionadas, são encontrados alguns tipos de perdas da carga aplicada à armadura ativa que não estão presentes, por exemplo, na aplicação da pós-tensão em elementos moldados in loco.

**Figura 2: Valores representativos da força de protensão – caso de pré-tração em cabos retos**



Fonte: HANAI (2005)

Para maior segurança, devem ser calculadas todas as perdas que ocorrem na viga pré-moldada em todas as seções, verificando os pontos mais críticos em cada estado da vida útil da peça. As perdas imediatas que ocorrem na pré-tração são causadas por: atrito (cabos poligonais), acomodação da ancoragem, encurtamento elástico e relaxação inicial da armadura e retração inicial do concreto. As perdas posteriores são representadas por: relaxação posterior dos cabos, retração do concreto após algum tempo e fluência do concreto.

## DISCUSSÃO

Apesar de algumas dificuldades iniciais no uso do concreto protendido terem sido superadas e do mercado de estruturas pré-moldadas ter melhorado em relação às décadas passadas, o Brasil ainda apresenta resistência a novas tecnologias e métodos construtivos, mesmo que em outros países esses já sejam bastante difundidos. É injustificável que, ainda hoje, em tempos de arrojado na arquitetura e grande demanda por economia de recursos financeiros e materiais, o desconhecimento e a falta de padronização de seções transversais impeçam o uso massivo da protensão e da pré-moldagem.

As diferenças entre a prática e as premissas teóricas do dimensionamento e execução de vigas de concreto protendido podem gerar obstáculos para a disseminação desses elementos. Quanto mais controle tecnológico houver nas obras e mais projetistas estiverem familiarizados com as determinações normativas e boas práticas para implementar economia e qualidade nos projetos, mais favorável se tornará o mercado para a utilização desse material. Embora haja várias etapas de cálculo previstas em normas e na literatura especializada, na prática, o dimensionamento sofre grande influência da experiência do projetista.

A capacitação da mão de obra e o desenvolvimento tecnológico tornam o campo fértil para fornecedores e podem minimizar a perda de competitividade do material no mercado da construção civil. Além disso, dimensionamentos adequados e para usos apropriados geram boa reputação para o método de fabricação. Seções leves e resistentes, de fabricação automatizada, com alto controle tecnológico, são

aspectos muito bem-vindos para a indústria da construção. No entanto, diferentes determinações pelos responsáveis pelos projetos podem gerar diferenças no desempenho final de peças de concreto protendido pré-moldadas. Em mercados com seções padronizadas pelos códigos, há maior certeza na produção de formatos e armações pré-determinadas, contribuindo para a disseminação do produto e a ampliação da quantidade de fornecedores de qualidade.

## CONCLUSÃO

A confiança em fornecedores e em projetos de peças, com suas seções e distribuição de armaduras e cordoalhas, é um fator importante, pois, mesmo com alto controle na produção, as perdas têm influência significativa nos resultados e devem ser consideradas no projeto estrutural e na fabricação, sendo um ponto que demanda atenção durante o dimensionamento dos elementos.

Nesse contexto, foi demonstrada a viabilidade dos passos a serem executados em um projeto de viga em concreto protendido e os motivos que tornam a adoção de elementos pré-moldados uma ótima alternativa ao concreto moldado *in loco*. Apesar disso, é evidente que a execução também deve respeitar as normas e manuais, utilizar materiais, métodos construtivos e equipes de qualidade, para que todo o processo que envolve essa alternativa ao concreto armado usual se torne uma opção viável e confiável.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 9062 (2001) – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2001.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 6118 (2004) – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- Bastos, P. S. dos S.; Fundamentos do Concreto Protendido. Bauru: UNESP, 2018.100p
- Cauduro, E. L.; Manual Para a Boa Execução de Estruturas Protendidas Usando Cordoalhas de Aço Engraxadas e Plastificadas. 2 .ed. São Paulo, 2002. 111p.
- Carvalho, R.C.; Estruturas em Concreto Protendido – Pré-tração, Pós-tensão, Cálculo e Detalhamento. 1.ed. São Paulo: Editora Pini, 2012. 448p.
- Doniak, I. L. O.; . Concreto protendido nas estruturas pré-fabricadas . Concreto & Construções, v. 78, p. 80-85, 2015.
- Hanai, J. B. de; Fundamentos do Concreto Protendido: E-Book de apoio para o curso de Engenharia Civil. São Carlos: EESC-USP, 2005. 116p.
- Leopoldo, R.; Ishitani, S. F. H.; Concreto Protendido – Fundamentos Iniciais. São Paulo: Escola Politécnica – USP, 2001. 30p.