

A IMPORTÂNCIA DO USO DO AÇO EM EDIFICAÇÕES ESTRUTURADAS COM LAJES PROTENDIDAS: ARMADURAS ATIVAS E PASSIVAS¹

Walnório Graça Ferreira²
Lorenzo Augusto Ruschi e Luchi³
Wagner Badke Ferreira⁴

Resumo

A engenharia de estruturas no Brasil avançou de tal maneira que foi necessário rever os conceitos de dimensionamento, visto a recente data de revisão da Norma (NBR 6118 / 2003 - Projeto de Estruturas de Concreto), envolvendo o dimensionamento com parâmetros bem definidos capazes de garantir que estruturas extremamente esbeltas, pudessem não só funcionar, transmitindo segurança aos usuários, como também durar, agregando valor ao investimento. Dentre as soluções de projetos comumente usadas, temos as estruturas convencionais, que apresentam grande demanda de formas e tempo de execução, estruturas de lajes nervuradas e estruturas de lajes protendidas. As primeiras muito usadas, mas que já estão sendo colocadas à prova devido, entre outros fatores, à falta de isolamento acústico, já as lajes protendidas estão tomando seu lugar no mercado, são o que há de mais moderno e capaz de vencer grandes vãos. Quando se fala de lajes protendidas pensa-se logo em pós ou pré-tração, em cordoalhas etc. Porém, deve-se ter em mente que para garantir o bom desempenho do concreto, o aço ou armadura passiva é fundamental, evitando as fissuras, os problemas de retração e resistindo aos esforços provenientes dos momentos em equilíbrio com as cordoalhas. Logo, esse trabalho visa apresentar as principais atribuições do aço dentro de uma laje protendida, e sua importância na solução estrutural das edificações.

Palavras-chave: Armadura ativa; Armadura passiva; Concreto protendido.

THE IMPORTANCE OF USING STEEL IN STRUCTURED BUILDINGS WITH PRESTRESSED SLABS: ACTIVE AND PASSIVE ARMOR

Abstract

The structural engineering in Brazil has advanced in such a way that was necessary to review the concepts of dimensioning, since the recent revision date of Norma (NBR 6118/2003 - Design of Concrete Structures), involving the design with well-defined parameters that can achieve that extremely slender structures, could not only work, conveying safety for users, as well as last, adding value to the investment. Among the commonly used design solutions, we have the conventional structures, which have great demand for forms and execution time, ribbed slabs and slabs of prestressed structures. The first widely used, but are already being put to the test because, among other factors, the lack of soundproofing, prestressed slabs are now taking their place in the market, due its capability of winning large spans and is the most modern solution. When speaking of prestressed slabs is thought about after or pre-tension on chordae etc. However, it should be borne in mind that to ensure the proper performance of concrete, steel or passive armor is critical to avoid cracking, the problems of shrinkage and also resisting efforts with the chordae. Therefore, this paper presents the main tasks of the steel in a prestressed slab, and its importance in the structure solution of the buildings.

Key words: Active armor; Passive armor; Prestressed concrete.

¹ *Contribuição técnica ao 49º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 22 a 25 de outubro de 2012, Vila Velha, ES, Brasil.*

² *Engenheiro Civil Professor Doutor (Universidade Federal do Espírito Santo).*

³ *Engenheiro Civil Professor Doutor (Universidade Federal do Espírito Santo).*

⁴ *Engenheiro Civil Mestrando (Universidade Federal do Espírito Santo).*

1 INTRODUÇÃO

A grande aceitação do concreto como material estrutural adveio da superação das limitações que apresentava no tempo dos romanos, qual seja, material resistente somente às solicitações de compressão. O desenvolvimento das idéias originais de Monier até se constituir no que se concebe como concreto estrutural, armado ou protendido, supriu a lacuna da baixa resistência à tração, intrínseca à natureza desse material, pela introdução de armaduras de aço para suportá-las. O uso conjunto dos dois materiais proveu ao concreto capacidade para suportar tanto esforços de tração como esforços de compressão. Essas propriedades garantiram a difusão universal de seu uso, transformando-o em líder para uso nas construções em geral.⁽¹⁾

Na sociedade atual, não é possível imaginar nenhuma atividade humana em que o concreto e o aço não estejam presentes. Comparando com o organismo social, o concreto representa:

- proteção, saúde, lazer e conforto ao homem, supridos por habitações, escolas, hospitais, indústrias, ginásios, templos, edificações em geral;
- rede de músculos e tendões que intercomunicam a sociedade global por meio de pontes, viadutos, túneis;
- provisão e manutenção da salubridade social representada por estações de tratamento de água, de esgotos e suas redes, aquedutos, reservatórios para armazenamento, obras de saneamento e de infra-estrutura em geral; e
- energia com a qual toda a sociedade funciona através de usinas hidrelétricas, usinas nucleares.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a importância do aço da armadura passiva em lajes de concreto protendido, assim como nas soluções estruturais das edificações.

3 A ARMADURA ATIVA NA LAJE DE CONCRETO PROTENDIDO

Conforme a Norma Brasileira NBR 6118 / 2003 “Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento” elementos de concreto protendido são aqueles nos quais parte das armaduras (armaduras ativas) 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 e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado limite último (ELU).⁽²⁾

Então, quando se fala em impedir ou limitar a fissuração é que se pode moldar o modelo de cálculo a fim de buscar soluções dentro dos parâmetros de segurança e viabilidade econômica para o dimensionamento de lajes protendidas.

Dentre os critérios de projeto, tem-se a escolha de três níveis de protensão:

- protensão completa;
- protensão limitada; e
- protensão parcial.

Na protensão completa todo o elemento está submetido a tensões de compressão, na protensão limitada há o surgimento de tensões nulas, já na protensão parcial admitem-se tensões de tração desde que respeitados os limites de abertura de fissura.

Com a necessidade do dinamismo em todas as etapas de desenvolvimento de edificações, na fase de execução da protensão nas lajes, normalmente tem-se o concreto com 70% de sua resistência característica a compressão, além de apenas o peso próprio está atuando sobre a estrutura, com isso ao utilizarmos a protensão completa, há o risco do surgimento de inversão de esforços, ultrapassando assim os limites de resistência da peça.

A protensão limitada encontra-se como uma alternativa para garantir o bom desempenho da laje, porém como trabalha no máximo sob o regime de tensões nulas apresenta um consumo elevado de armadura ativa tornando a escolha economicamente pouco atrativa.

Em contra partida o nível de protensão parcial por permitir o surgimento de tensões de tração apresenta um equilíbrio entre armaduras ativas e passivas, otimizando a relação de custos de materiais sem deixar de garantir a segurança necessária em nível de desempenho.

Observa-se então que o aço que representa a armadura ativa, ou cordoalha, é capaz de controlar os níveis de tensão no elemento de concreto tornando a laje protendida uma opção capaz de vencer grandes vãos livres, com menos consumo de formas e conseqüentemente maior agilidade de execução.

4 A ARMADURA PASSIVA NAS LAJES DE CONCRETO PROTENDIDO

Como foi dito anteriormente ao utilizarmos a protensão limitada conseguimos tornar a laje protendida competitiva frente a outras tendências de projeto, como as lajes nervuradas, e essa competitividade se deve ao equilíbrio entre as armaduras ativas e passivas, ou seja, um consumo menor de cordoalha implica no surgimento de tensões de tração e conseqüentemente na necessidade de armadura aderente ou armadura frouxa.

Além de resistir aos esforços de tração a armadura passiva é fundamental no controle das tensões devido aos efeitos da retração do concreto, tanto de origem térmica (como consequência do calor de hidratação), como hidráulica e abaixamentos de temperatura.

A importância da armadura passiva é notada quando a Norma Brasileira regulamenta uma armadura mínima a ser utilizada em função da relação entre vãos, da resistência característica do concreto e da área da seção do elemento, com o objetivo de melhorar o desempenho e utilidade à flexão, assim como controlar a fissuração.

5 ARMADURA ATIVA X ARMADURA PASSIVA

O aço é fabricado em escala industrial e o controle do seu processo produtivo garante a consistência de suas propriedades físicas, com isso a aplicação ganha no caráter precisão e podemos ter um controle maior sobre o consumo.

Dentre os aços de protensão, tem-se:

- aços de relaxação normal, denominados RN que permitem que as perdas de protensão atinjam cerca de 12% da tensão inicial; e
- aços de relaxação baixa (RB) quando as perdas de protensão não ultrapassam 3,5% da tensão inicial.

A resistência ao escoamento do aço de armadura ativa varia de 1500 a 1900 MPa, sendo considerados aços de alta resistência, podendo ter mais do que o dobro da resistência ao escoamento da armadura passiva.

Os aços de armadura passiva mais utilizados e recomendados para edificação são os classificados como CA 50 e CA 60, onde CA refere-se a concreto armado e o valor que vem a frente representa o limite de escoamento (Quadro 1):⁽³⁾

Quadro 1 - Limite de resistência ao escoamento do aço

Aço	Resistência ao escoamento
CA 50	500 MPa
CA 60	600 MPa

A seguir, na Figura 1, apresenta-se o diagrama tensão-deformação de uma barra de Aço CA 50 com diâmetro de 6,3 mm.

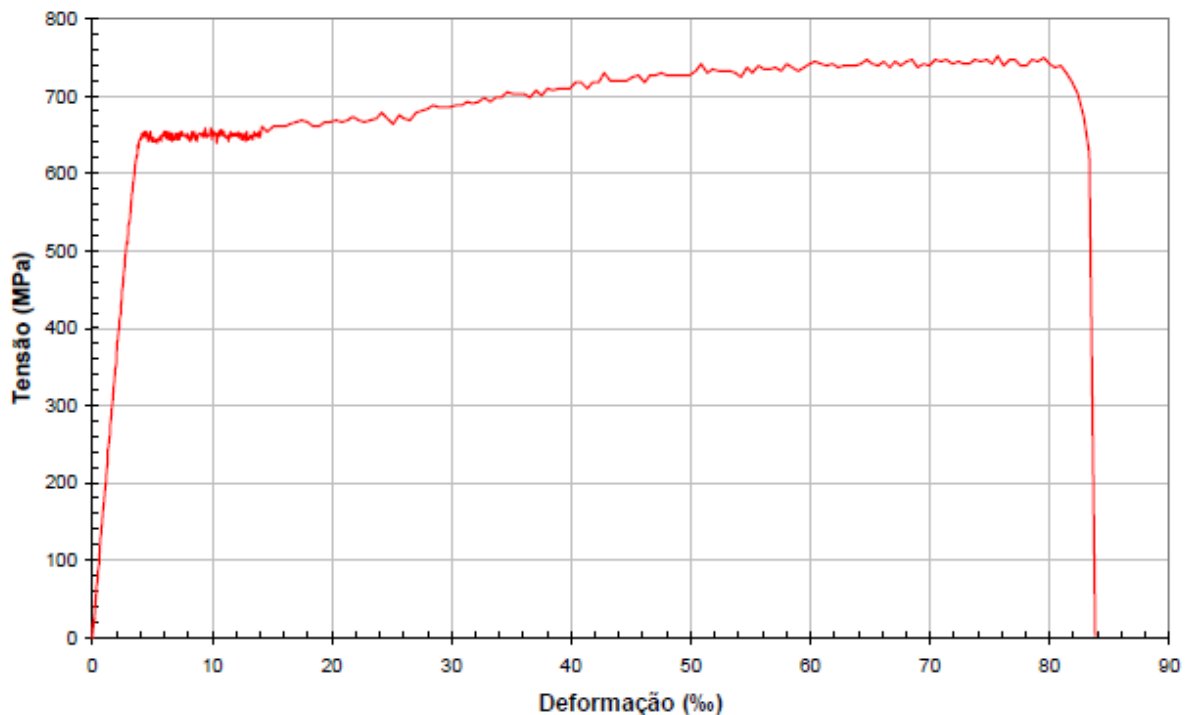


Figura 1 – Diagrama Tensão x Deformação Aço CA 50.⁽⁴⁾

Para a barra de aço analisada, apresenta-se o Quadro 2:

Quadro 2 – Comparativo área de aço e limite de escoamento - valores nominais e valores medidos

Valores Nominiais	
Aço CA 50	bitola de 6.3 mm
Área de aço	31,2 mm ²
Resistência ao escoamento	500 MPa
Valores Medidos	
Aço CA 50	bitola de 6.3 mm
Área de aço	31,2 mm ²
Resistência ao escoamento	640 MPa

Portanto é possível observar que o controle de produção garante o alto grau de desempenho, ou seja, a resistência ao escoamento real é 28% maior do que a especificada pelo fabricante.

Vale ressaltar que quando se trabalha dentro dos limites estabelecidos de

resistência ao escoamento do aço, estamos na zona elástica, onde o aço possui a capacidade de retomar as características geométricas quando submetidos ao alívio de tensões, essa zona é ilustrada no diagrama apresentado como sendo o trecho ascendente, o trecho abatido horizontalmente representa o zona de plasticidade do aço que à medida que se aumentam as tensões culminam na ruptura do material.

5 CUIDADOS COM AS ARMADURAS

Lajes de concreto protendido precisam ser cuidadosamente concebidas, desde a fase de projetos até as etapas de construção, uma vez que a substituição de materiais com o aço é praticamente inviável. Com isso é necessário seguir alguns critérios de segurança que garantam a integridade do aço no interior do volume de concreto.

A NBR 6118/2003,⁽²⁾ trás algumas recomendações em função das classes de agressividade ambiental para proteção das armaduras em elementos de concreto armado.

Uma medida de fundamental importância para proteção das armaduras é garantir que as fissuras não permitam que a agressividade do meio deteriore as peças de aço, para isso seguem algumas exigências de durabilidade impostas pela Norma no Quadro 3.

Quadro 3 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	--
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação freqüente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação freqüente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação freqüente
		ELS-D ¹⁾	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ¹⁾	Combinação freqüente

¹⁾ A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 25$ mm (figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

Outra medida fundamental é garantir que a armadura tenha uma capa protetora para quando submetidas à agressividade do ambiente em que se encontram, possam

estar protegidas de manifestações patológicas. A NBR 6118 também trás recomendação a ser obedecidas sobre essa questão, conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

A proteção das armaduras é fundamental para o bom desempenho da estrutura, pois sabe-se que barras de aço podem sofrer expansão de até 8 vezes o seu volume inicial quando estão sobre o processo de corrosão, causando redução de resistência e surgimento de trincas por onde o ambiente pode atuar trazendo mais danos a edificação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapes (Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo), ao CNPq e à Capes.

REFERÊNCIAS

- 1 ISAIA, G. C. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. 2005.
- 2 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- 3 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7480: Aço Destinado a Armaduras para Estruturas de Concreto Armado. Rio de Janeiro, 2007.
- 4 PINHEIRO, L. M., SANTOS, A. P., MUZARDO, C. D., SANTOS, S. P. Aços para armadura – Estruturas de Concreto, Escola de Engenharia de São Carlos – USP – 2010.