

ARMANDO DIAS DUARTE  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

**APPLIED CIVIL  
ENGINEERING  
2**

---

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

ARMANDO DIAS DUARTE  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

**APPLIED CIVIL  
ENGINEERING  
2**

---

 **Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Armando Dias Duarte

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C697 Collection: applied civil engineering 2 / Organizador  
Armando Dias Duarte. – Ponta Grossa - PR: Atena,  
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0174-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.742222604>

1. Civil engineering. I. Duarte, Armando Dias  
(Organizador). II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A coleção de trabalhos intitulada “*Collection: Applied civil engineering 2*” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de diversos trabalhos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar, pesquisas cujos resultados possam auxiliar na tomada de decisão, tanto no campo acadêmico, quanto no profissional.

Os trabalhos desenvolvidos foram realizados em instituições de ensino e pesquisa no Brasil. Nos capítulos apresentados, são encontrados estudos de grande valia nas áreas de materiais da construção civil, métodos numéricos e segurança. A composição dos temas buscou a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos (as), mestres (as) e todos (as) aqueles (as) que de alguma forma se interessam pela área da Engenharia Civil, através de temáticas atuais com resoluções inovadoras, descritas nos capítulos da coleção. Sendo assim, a divulgação científica é apresentada com grande importância para o desenvolvimento de toda uma nação, portanto, fica evidenciada a responsabilidade de transmissão dos saberes através de plataformas consolidadas e confiáveis, como a Atena Editora, capaz de oferecer uma maior segurança para os novos pesquisadores e os que já atuam nas diferentes áreas de pesquisa, exporem e divulgarem seus resultados.

Armando Dias Duarte

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CINZA PESADA COMO SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NATURAL EM ARGAMASSA**

André Valmir Saugo Ribeiro

Jéssyca Mendes da Silva

Eduardo Nobre Guindani

Julia Beatriz Saugo Milani

Philippe Jean Paul Gleize

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226041>

### **CAPÍTULO 2..... 13**

#### **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS: UM ESTUDO DE CASO**

Francisca Evânia Carvalho

Aridenise Macena Fontenelle

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226042>

### **CAPÍTULO 3..... 20**

#### **ANÁLISE DE MODELOS DE CÁLCULO DE PONTES COM MÚLTIPLAS VIGAS**

Luís Gabriel de Moura

Daniele Martins

Isadora Paczek

Guilherme Alves Correa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226043>

### **CAPÍTULO 4..... 32**

#### **ANÁLISE DA FORÇA CORTANTE EM LAJES COM VIGOTAS TRELIÇADAS**

Rodrigo Bender

Daniele Martins

Isadora Paczek

Guilherme Alves Correa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226044>

### **CAPÍTULO 5..... 45**

#### **COMPARAÇÃO DE ARMADURA MÍNIMA EM VIGAS PROTENDIDAS EM PÓS-TRAÇÃO ADERENTE COM CAD E CRF**

Fernando Machado Parizi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226045>

### **CAPÍTULO 6..... 58**

#### **MODOS DE FALHA EM BARRAGENS E O FENÔMENO DA LIQUEFAÇÃO**

Rafaela Baldi Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226046>

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>68</b>
PRÉDIOS SOB AÇÃO DE TERREMOTO: ANÁLISE E PROJETO DE SISTEMA DE CONTROLE	
Denner Cirqueira Costa	
Wallysonn Alves de Souza	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226047">https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226047</a>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>76</b>
APLICAÇÃO DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS DO CBMPA PARA AVERIGUAÇÃO DAS MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO	
Flaviany Luise Nogueira de Sousa	
Nuria Pérez Gallardo	
Tamara Daiane de Souza	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226048">https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226048</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>88</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>89</b>

## COMPARAÇÃO DE ARMADURA MÍNIMA EM VIGAS PROTENDIDAS EM PÓS-TRAÇÃO ADERENTE COM CAD E CRF

*Data de aceite: 01/04/2022*

**Fernando Machado Parizi**  
Parizi Engenharia/ Projetos

**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.

**ABSTRACT:** The present work presents the verification for Minimum Reinforcement of prestressed beams with bonded post-tension using High Performance Concrete (CAD) and Fiber Reinforced Concrete (FRC). To this end, the analyzes for Service Limit State (ELS) and Ultimate Limit State (ELU) proposed by NBR 6118:2014 will be applied. As NBR 6118:2014 does not distinguish between adherent and non-adherent prestressing or post-tension levels, therefore not accepting active reinforcement as minimum reinforcement, the minimum reinforcement calculation suggested by PEREIRA and CARPINO (2016) was used, this method being recommended only for bonded post-tension beams and complete prestressing, which consists of using the minimum moment of NBR 6118:2014. To avoid unnecessary reinforcement, PEREIRA and CARPINO also suggest that if 90% of the design moment is greater than the sum of the cracking moment and the minimum moment, the additional minimum reinforcement is not necessary. As per ACI 318-14, the additional minimum reinforcement is unnecessary if 90% of the design moment is greater than 1.20 of the Cracking moment. Both methods were validated in this study. Manual calculations and calculations

were performed using the Finite Element Method (FEM) through the ADAPT-Floor Pro 2017 software. The calculations of the influence of Fibers take into account the Static Equivalence and were performed only manually, this value being compared to the Moment of concrete cracking. **KEYWORDS:** Beam; Post-tension; Adherent post-tension; 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 INAEF (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 21° 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 composto, 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.

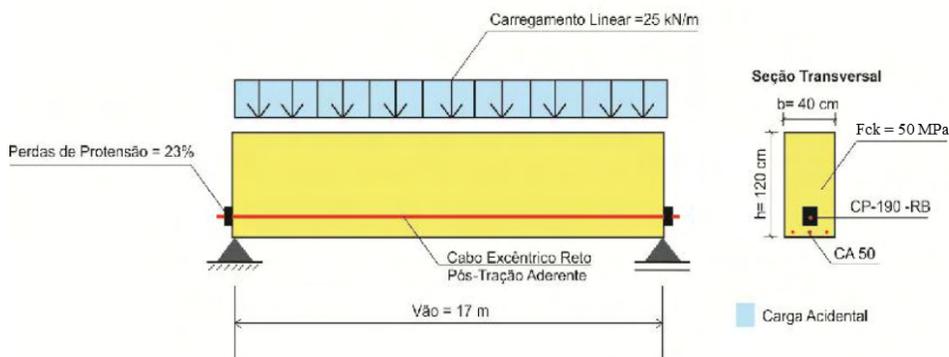


Figura 1 - Viga adotada (Fonte: o autor).

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).

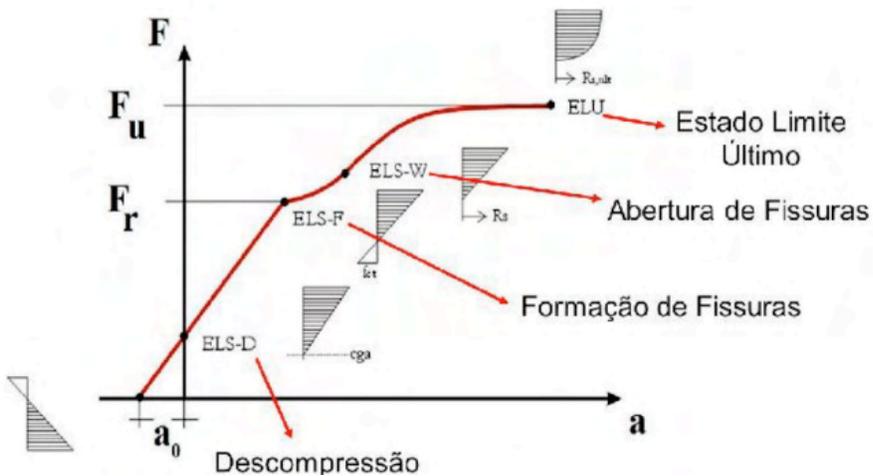


Figura 2-Estágios de uma Viga Protendida no ELS e ELU(PEREIRA E CARPINO (2016)).

A NBR 6118:2014 especifica 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:

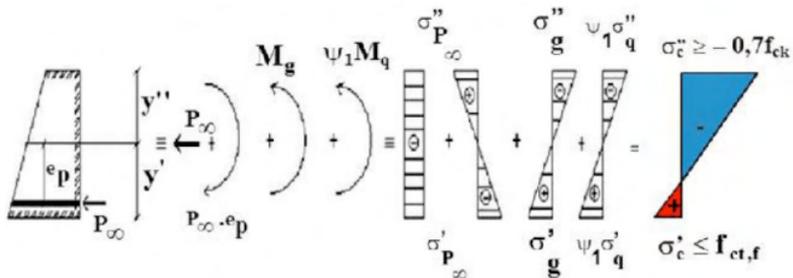


Figura 3—Verificação ELS-F -Combinação Frequente, Protensão Limitada(PEREIRA E CARPINO (2016)).

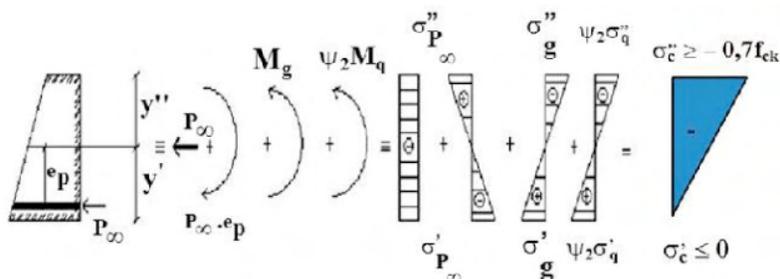


Figura 4 – Verificação ELS-D - Combinação Quase Permanente, Protensão Limitada (PEREIRA E CARPINO (2016)).

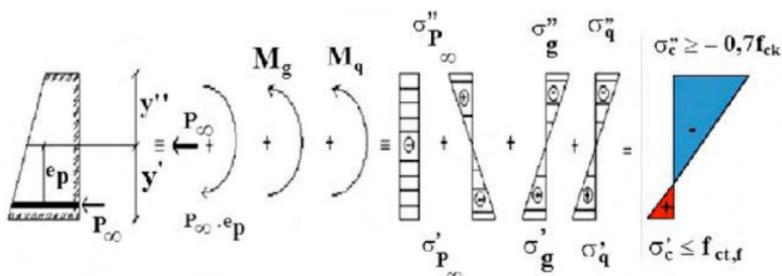


Figura 5—Verificação ELS-F -Combinação Rara, Protensão Completa(PEREIRA E CARPINO (2016)).

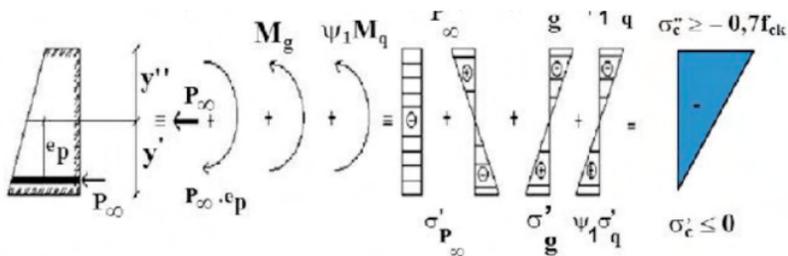


Figura 6—Verificação ELS-D -Combinação Frequente, Protensão Completa(PEREIRA E CARPINO (2016)).

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  $f_{ctk,sup}$ . 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  $m^3$

$f_{ctk,sup}$  = 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  $m^2$

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  $kN \cdot m$

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

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

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  $1,47\text{ MPa}$ . 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  $2,1\text{ MPa}$ .

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:

Nível de Protensão	Combinação	Estado Limite	Cálculo Manual			Cálculo Adapt			Variação
			$P_{\infty}$	Borda Inferior ( $\sigma'$ )	Borda Superior ( $\sigma''$ )	$P_{\infty}$	Borda Inferior ( $\sigma'$ )	Borda Superior ( $\sigma''$ )	
			(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%

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

Na verificação do ELU para protensão limitada teríamos 12 cordoalhas  $\varnothing 12,7\text{mm}$

+ 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  $p_{min} = 0,15\% = 7,2\text{cm}^2$ .

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:

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

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

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.

## 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.

BILJAN, 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-Tensionadas, **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.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Análise de estruturas 20

Análise experimental 32

Análise teórica 32

Areias 58, 59, 64

Argamassa 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19

Armadura transversal 32, 34, 40, 41, 42, 44

### B

Barragem 60, 61, 65

### C

CAD 45

CBMPA 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86

CRF 45, 48, 54

### D

Desigualdades matriciais lineares 68, 69, 70

Distribuição 20, 21, 31, 63

### E

Estabilidade de lyapunov 69

Estado endurecido 1, 4, 5, 8

Estado fresco 1, 2, 4, 5, 6, 7

### F

Fachadas 13, 14, 16, 17, 18, 19

Força cortante 32, 33, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44

### I

Incêndio 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87

Instruções técnicas 77, 78, 79, 81, 86

### L

Laje treliçada 32, 42

Liquefação 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66

## **M**

Massa 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 59, 60, 61, 63, 64, 72, 73, 74

Medidas de segurança 77, 78, 82, 84, 85, 86

Métodos 2, 3, 10, 19, 20, 21, 25, 26, 29, 31, 45, 47

Modo de falha 58, 65, 66

## **P**

Patologia 13, 16, 17, 18

Pontes 20, 21, 57

PONTES 20, 21, 31, 48

Pós-tração aderente 45, 46, 55, 57

Protendido 31, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 56, 57

## **R**

Revestimento cerâmico 13, 15, 19

## **S**

Sinistro 77, 78, 79, 80

Sistemas lineares 68, 70, 76

## **T**

Terremotos 65, 66, 68, 69, 71, 72

## **V**

Viga 18, 29, 45, 47, 48, 49, 50, 52, 54, 55

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

---

*Collection:*

# APPLIED CIVIL ENGINEERING 2

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED CIVIL ENGINEERING 2