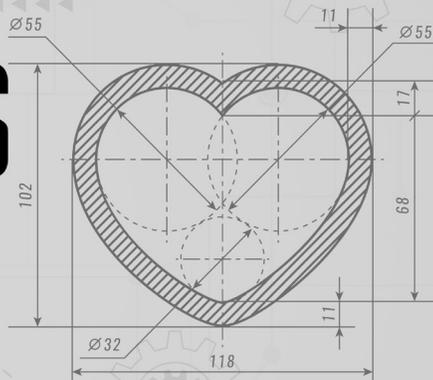


COLEÇÃO

“ENGENHARIAS EU TE AMO”

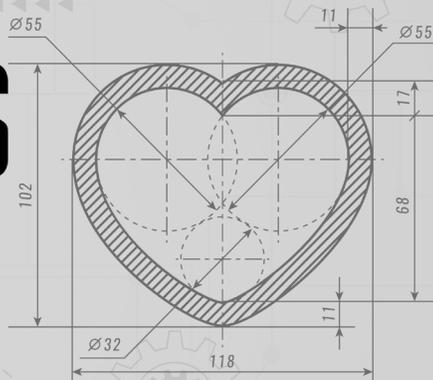


ENGENHARIA CIVIL

ARMANDO DIAS DUARTE
(ORGANIZADOR)

COLEÇÃO

“ENGENHARIAS EU TE AMO”



ENGENHARIA CIVIL

ARMANDO DIAS DUARTE
(ORGANIZADOR)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Fernanda Jasinski

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 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
Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^o Dr^o Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^a Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^a 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
Prof^o Dr^a 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^o Dr^a Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^o Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^o Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^o Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof^o Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^a Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Coleção “Engenharias eu te amo”: engenharia civil

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Armando Dias Duarte

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C691	<p>Coleção “Engenharias eu te amo”: engenharia civil / Organizador Armando Dias Duarte. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-1238-0 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.380230603</p> <p>1. Engenharia civil. I. Duarte, Armando Dias. II. Título. CDD 624</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
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.

A obra “Engenharia eu te amo” é uma coleção de trabalhos científicos que busca aprimorar o conhecimento na área da Engenharia Civil. Composta por capítulos categorizados e interdisciplinares, a coleção apresenta estudos realizados em diversas instituições de ensino e pesquisa no Brasil, abordando temas como a avaliação socioeconômica de um assentamento no Rio Grande do Norte, a discrepância planimétrica por meio da estação total Geodetic GT2i-10H, roteiros para cálculo de painéis pré-fabricados e a composição de tijolos de solo-cimento com fibras vegetais de jute e malva.

A proposta da coleção é fornecer soluções inovadoras para questões atuais que possam ser aplicadas tanto no campo acadêmico quanto no profissional, de modo a contribuir para a tomada de decisão. Além disso, a obra busca incentivar a divulgação científica como um importante meio para o desenvolvimento da nação e ressalta a responsabilidade dos pesquisadores na transmissão de conhecimentos por meio de plataformas confiáveis, como a Atena Editora.

Armando Dias Duarte

CAPÍTULO 1	1
A IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA PAVIMENTAÇÃO DA ESTRADA NO ASSENTAMENTO 3 DE AGOSTO, ZONA RURAL DE LAJES/RN	
Ana Raira Gonçalves da Silva	
Bárbara Gysele Barbosa de Oliveira	
Maria Eduarda de Souza Silva	
Sandra Conceição Nascimento Dionísio	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.3802306031	
CAPÍTULO 2	14
ROTEIRO DE CÁLCULO PARA PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS PROTENDIDOS	
João Victor Kapuscinski	
Andreza Frare	
Dyorgge Alves Silva	
 https://doi.org/10.22533/at.ed3802306032	
CAPÍTULO 3	31
DIVERGÊNCIA PLANIMÉTRICA DE MEDIDAS ELETRO ÓTICAS EM DIFERENTES ALVOS E DISTÂNCIA	
Marcilene Soares do Nascimento	
Juliana Fernandes da Silva	
Tainara Mendes Ribeiro	
Ana Flávia Silva Sousa	
Nagíbio José Paranhos	
Jonathan da Rocha Miranda	
Juliana Terezinha Santos da Cruz	
Luana Kássia Gomes Linhares	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.3802306033	
CAPÍTULO 4	40
TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM FIBRAS VEGETAIS DE JUTA E MALVA	
Felipe Prestes Batista	
Fernando de Farias Fernandes	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.3802306034	
SOBRE O ORGANIZADOR	48
ÍNDICE REMISSIVO	49

ROTEIRO DE CÁLCULO PARA PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS PROTENDIDOS

Data de submissão: 17/01/2023

Data de aceite: 01/03/2023

João Victor Kapuscinski

Centro Universitário Campo Real
Guarapuava – PR

Andreza Frare

Centro Universitário Campo Real
Guarapuava – PR
<http://lattes.cnpq.br/0514726011482007>

Dyorgge Alves Silva

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Guarapuava – PR
<http://lattes.cnpq.br/8573369439574030>

RESUMO: O sistema construtivo de pré-fabricados tem uma boa utilização, quando falamos de uma obra mais limpa, rápida e com peças de qualidade superior, isso pelo fato de existir um controle de qualidade muito grande, assim é utilizado ensaios laboratoriais, com uma junção de agregados, aditivos, entre outros. Pensando nisso, foi acompanhado o método de execução de painéis pré-fabricados protendidos, o qual precisa passar por algumas etapas construtivas, que foram detalhadas no trabalho, deste modo, sabendo como era o método construtivo, foi determinado um dimensionamento, sendo apresentado

os materiais utilizados, tal como, o seu cálculo específico. Assim podemos detalhar as peças no projeto, os seus momentos e podendo ser executado a partir desse trabalho, os painéis pré-fabricados protendidos.

PALAVRAS-CHAVE: Protensão; Painéis; Concreto protendido.

CALCULATION SCRIPT FOR PREFABRICATED PROSTRESSED PANELS

ABSTRACT: The prefabricated laboratory system has a good interpretation, when used in a cleaner work, with superior quality parts, due to the fact that there is a great quality control, as it is used in tests, with a great importance of aggregates, additives, among others. With that in mind, the method of execution of the prefabricated prestressed panels was followed, which needs to go through some constructive steps, which were foreseen in the work, and thus presented, knowing how the construction method was determined, it was a dimensioning, being the materials used, such as your specific. In this way, we can detail the parts, their moments and thus the prefabricated protected panels can be

executed from these works.

KEYWORDS: Pretension; panels; prestressed concrete.

1 | INTRODUÇÃO

O conjunto construtivo de pré-fabricados vem tendo um enorme crescimento com o decorrer do tempo, com tudo, ainda sendo visto como “segundo plano” em diversas áreas. Segundo El Debs (2000) A construção civil tem sido considerada uma indústria atrasada quando comparada a outros ramos industriais, isso ocorre, por conta de baixa produtividade, desperdício imenso de materiais, morosidade e muito baixo controle de qualidade. As metodologias construtivas de pré-fabricados proporcionam uma melhoria no controle de qualidade, também sendo um dos métodos que menos causa desperdício na obra e em outro ponto de vista, os custos que trazem são menores.

Um ponto importante sobre tudo isso é o que procuramos que na maioria das vezes é um produto de qualidade e que seja de baixo custo, tendo uma mão de obra rápida e eficaz. Com isso, podemos utilizar a substituição de alvenaria estrutural, alvenaria de cerâmica, dentre outros, pela utilização de painéis de concreto protendido. É um sistema utilizado geralmente em obras de pré-fabricados, onde os painéis saem prontos para utilização, de tais vãos específicos da obra. Podendo ter mais rapidez na produção, na execução e na parte do acabamento. Ainda para El Debs (2000), as características do CPM (concreto pré-moldado) criam alguns benefícios de extrema importância para a construção, como por exemplo: redução de tempo de construção, controle melhor dos componentes de CPM e fazendo reduzir o desperdício de materiais na obra.

O sistema de protensão nada mais é do que aumentar a resistência do concreto, constituindo a ideia de esticar cabos ao seu limite elástico, utilizando um macaco hidráulico, tendo uma tração, podendo aguentar diversos limites entre ela e também podendo suportar vãos imensos. A protensão pode ser feita entre dois tipos, pré-tracionadas ou pós-tracionadas. As peças são fabricadas em formas específicas, podendo utilizar os dois meios citados. Segundo Leonhardt(1983, página 10), que através da protensão, os esforços de tração tendem a anular as tensões de compressão antes de mesmo de existir as tensões de tração no concreto.

Os painéis são as paredes da obra em pré-fabricados, tendo em vista que para ter uma parede em alvenaria estrutural precisamos passar por diversas etapas, para que chegue na parte desejável. Pensando nisso, podemos dizer que pulamos muitas etapas quando comparada à alvenaria estrutural.

O intuito desta pesquisa é chegar a um roteiro cálculo específico para o dimensionamento do painel, que comporte os cabos de aço para um determinado vão.

2 | PAINÉIS PROTENDIDOS

Segundo Carvalho (2012), “o uso de painéis que são projetados para resistir apenas ao seu peso, além de ações horizontais, ou também para resistir a coberturas e lajes”.

Para Acker (2002), os sistemas para fachadas, podem ser constituídos por painéis de fechamento maciços ou sanduíches, os quais podem possuir ou não função estrutural é comumente utilizada externamente ou internamente. Continua Acker (2002), “os sistemas de fechamento pré-fabricados oferecem vantagens de rapidez na construção, de acabamento liso, de isolamento acústico e de resistência a fogo. Acker (2002) acrescenta que, “para edifícios industriais e armazéns, é utilizado painéis nervurados protendidos, isso por relação da sobrecarga e de seus grandes vãos, eles são caracterizados pela sua leveza e por vencer vãos imensos.”

Conforme a norma ABNT NBR: 16475(2017), o projeto para estruturas de painéis de paredes de concreto pré-moldado deve seguir alguns pontos: 1. sistema estrutural de acordo à função pretendida para a edificação; 2. análise da estabilidade estrutural global, considerando a rigidez das ligações dos painéis de parede pré-moldados estruturais; 3. combinações de ações compatíveis e representativas; 4. estudo de todos os elementos estruturais atribuídos; 5. identificação de materiais seguindo os dimensionamentos realizados; 6. as normas conforme a ABNT NBR 9062 relativos a projetos em situação de incêndio; 7. Os requisitos da ABNT NBR 15575, aplicado na qual se considera o desenvolvimento do edifício concluído.

Conforme a ABNT NBR:16475(2017), em relação ao projeto dos painéis, “deve respeitar as disposições construtivas, como espaçamento das barras, dobramento, emenda e demais especificações, conforme ABNT NBR 6118.” Acrescenta ainda, que o detalhamento das armaduras deve ser conforme aos requisitos de proteção das armaduras, quanto à corrosão, e os cobrimentos mínimos das armaduras dos painéis de parede estruturais pré-moldados.

Os painéis de parede pré-moldados podem ser projetados utilizando-se de reforço estrutural proveniente de armaduras e fibras. Deste modo pode ser utilizado como armadura de concreto armado ou protendido: telas soldadas, vergalhões, treliças, cordoalhas, fios de protensão e conectores metálicos, de acordo com a ABNT NBR:16475(2017). Em relação às barras, fios e as cordoalhas de aço, que vai ser utilizado nos elementos de concreto protendido, devem obedecer, as normas ABNT NBR:7482(2020) e ABNT NBR:7483(2008).

De acordo com a ABNT NBR: 7482(2020), os fios se classificam em dois tipos de categorias para diâmetro nominal, isso com a resistência à tração adequada, as quais podem ser observadas na tabela 1 e 2 da norma. Isso leva em conta a relação entre os relaxamentos dos cabos, podemos considerar os dois tipos como, relaxação normal (RN) e relaxação baixa (RB).

A ABNT NBR: 7483(2008), nos mostra uma classificação das cordoalhas sendo elas

como, cordoalhas de três fios e cordoalhas de sete fios, além disso, a são classificadas também conforme a resistência de cada cordoalha, categorizadas como CP-190 e CP-210. Os números que foram atribuídos, 190 e 210, representam o limite da resistência à tração na unidade de quilograma de força por milímetro quadrado. Para essa norma, consideramos $1 \text{ kgf/mm}^2 = 9,81 \text{ MPa}$.

3 | PROTENSÃO DOS PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS PROTENDIDO

Os painéis pré-fabricados protendidos, são especificados como uma pré-tração, pois se trata de os cabos serem tracionados antes do lançamento do concreto auto adensável, e também a protensão se dá com a aderência do concreto e da mesma, após a sua cura total.

A questão da intensidade de protensão, é preciso manter a durabilidade das peças evitando a corrosão da armadura e assim, deve-se fazer a verificação nos limites de serviço referente à fissuração. Os cuidados para peças protendidas devem ser dobradas ao comparada com a armada, no caso da armadura ativa, o risco de protensão é maior que as armaduras passivas devido a intensidade de tensão atuante na primeira.

A norma define os tipos de protensão os quais são: protensão completa, protensão limitada e protensão parcial. Para que possamos definir qual tipo de protensão utilizar em devidas peças, é preciso saber o qual o tipo da construção a ser feita ou da agressividade do meio ambiente. De uma maneira geral, para elementos com aderência posterior utiliza-se protensão parcial em ambientes com fraca e moderada agressividade, e para ambientes com agressividade forte e muito forte recomenda-se a protensão limitada e a completa. Para elementos com aderência inicial, utiliza-se protensão parcial em ambientes com fraca agressividade, protensão limitada para agressividade moderada e para ambientes com agressividade forte e muito forte recomenda-se a protensão completa.

Após ser verificados todos esses tipos de agressividade e também verificações em relação a armadura de protensão, partimos para a verificação dos estados de serviço ligados a fissuração, com isso, é preciso que o concreto esteja com uma resistência mínima à compressão e os cobrimentos devem ser atendido, conforme já citado pela NBR 6118(2014).

4 | DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL DE FLEXÃO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Quando calculamos peças de concreto protendido ou até mesmo concreto armado, é preciso definir a segurança no estado limite último e deste modo verificando a mesma, também é preciso verificar a estrutura em seu funcionamento, no caso, a peça em serviço ou uso.

Em questão do concreto armado, de uma maneira geral, é dimensionado a

armadura de flexão no estado último de esgotamento da capacidade de resistência devido às solicitações normais e verificar as demais condições. Já no concreto protendido, além de ter essa hipótese, podemos fazer o inverso, dimensionando a armadura para condições de serviço (estado limite de fissura) e podendo verificar a sua ruptura.

Quando se trata de dimensionamento no estado limite último de colapso em concreto protendido tem pouca diferença em relação ao efetuado em peças armadas. As hipóteses que uma seção transversal deve obedecer tanto em concreto armado como concreto protendido, estão descritas na NBR 6118(2014, no item 17.2.2, resumidamente são:

1. As seções transversais permanecem planas após o início da deformação e até o estado limite último (hipótese de Bernoulli);
2. Solidariedade dos materiais: admite-se a solidariedade perfeita entre o concreto e a armadura; dessa forma a deformação específica de uma barra da armadura, em tração ou compressão, é igual à deformação específica do concreto adjacente.
3. As tensões de tração no concreto, normais à seção transversal, podem ser desprezadas.
4. Admite-se que a distribuição de tensões no concreto comprimido seja feita de acordo com o diagrama parábola-retângulo (Figura 1, 2 e 3) e as expressões:

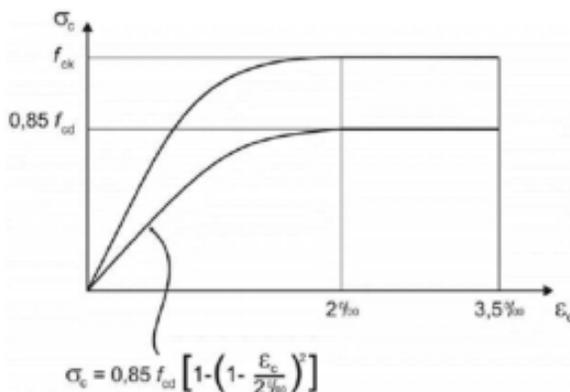


Figura 1 — Diagrama Tensão-Deformação do concreto

Fonte: NBR 6118:2014.

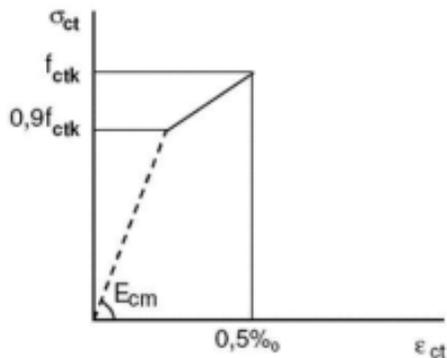


Figura 2 — Diagrama Tensão-Deformação Bilinear na Tração

Fonte: NBR 6118:2014.

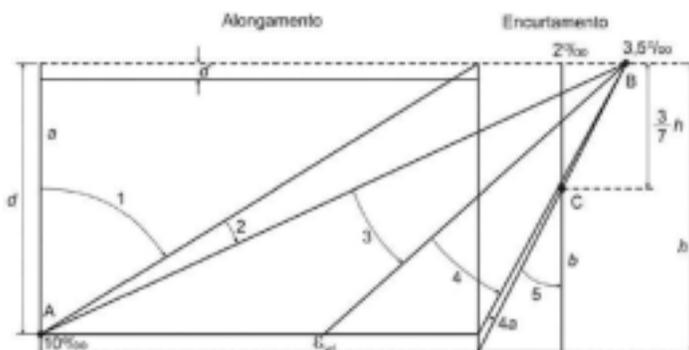


Figura 3 — Domínios de uma Deformação no estado limite último em uma seção transversal

Fonte: NBR 6118:2014.

1. A tensão na armadura pode ser dada, simplificada (sem considerar descompressão), através da expressão:

$$e_t = e_s + e_p$$

Onde:

e_t – deformação total da armadura

e_p – deformação de pré-alongamento (protensão da armadura propriamente dita)

(e_c) – deformação específica da armadura decorrente da deformação da seção (deformação que deve estar contemplada pelos domínios dados no item anterior).

Com valor total da deformação total e_t pode-se obter (item e) a tensão do aço s_{pd} para calcular a armadura.

4.1 Flexão em painéis pré-moldado protendido

A flexão existe tanto nas peças fabricadas na fábrica, como também nas peças

moldadas in loco. O que pode diferir é que as peças produzidas em fábricas, tem a qualidade superior que as in loco, por ter um controle de qualidade especializado, com laboratórios equipados e funcionários treinados responsável por todo o processo e controle.

As diferenças são bem poucas, quando comparado aos dois tipos de concreto, cabe analisar os parâmetros que tornam o pré-fabricado distinto dos outros, tanto com relação aos materiais utilizados quanto à sua geometria.

Assim, para poder pré-dimensionar ou até mesmo calcular a armadura longitudinal de flexão, podem ser utilizadas tanto as condições de verificação de estado limite de fissuração como a condição de estado limite último. Mas em todos os casos, temos que ter conhecimento nas perdas de protensão, que se dá no processo, sendo elas as perdas iniciais, a qual ocorre imediatamente, e as perdas ao longo do tempo, que ocorrem até o tempo infinito.

É de extrema importância considerar a distância de transferência de protensão na peça, pois o esforço de protensão é crescente a partir dos apoios e tem seu valor máximo a uma distância conhecida como “distância de regularização da protensão”, e nesse ponto pode-se considerar que há grande perturbação de tensões. Por ocorrer próximo aos apoios, a parcela do peso próprio que contribui para minimizar as tensões de tração é muito baixa, por isso deve ser levada em conta nos cálculos, já que pode se tornar a condição determinante levando à necessidade de acrescentar cordoalhas na face superior dos elementos.

4.2 Cisalhamento em painéis pré-moldados protendidos

O processo de fabricação mecanizada de painéis protendidos não permite a introdução de armaduras de cisalhamento (estribos), fazendo com que a armadura de protensão seja a responsável para combater essas tensões. Com isso, gera uma grande importância no intertravamento dos agregados, que garantem eficiência na compactação e alta resistência final do concreto e na espessura dos painéis.

Um pouco diferente da flexão a capacidade resistente ao cisalhamento é determinada sempre pelo estado limite último, não havendo condições de limitação no serviço. A ruptura se dá de forma repentina com fissuração se estendendo pela alma, sendo esta devida a um carregamento que a seção não consegue resistir.

Teoricamente a capacidade de resistência ao cisalhamento nas peças protendidas é calculada considerando-se duas condições: 1- seção não fissurada e 2- seção fissurada por flexão. Porém, este último conduz a um menor valor e, assim, a NBR 6118(2014) considera apenas esta situação. Também vale destacar que a verificação de cisalhamento é feita apenas no estado limite último.

Também existe o caso de o esforço cortante atuante ser maior que o esforço máximo calculado, desse modo a NBR 6118(2014) permite o preenchimento dos alvéolos para aumentar a área de seção de concreto da laje na região em que o cortante atuante é

maior que o máximo. O ganho de resistência ao cisalhamento ao preencher os alvéolos é proporcional à área do concreto, desconsiderando a possibilidade de escorregamento da armadura.

4.3 Perdas de protensão

Como já comentado anteriormente no item 4.2, o dimensionamento de peças protendido é realizado através do estado limite de ruptura à flexão e as verificações são feitas para atender as condições de fissuras (durabilidade) e a deformação excessiva. A verificação pode ser feita, com um conhecimento sobre os esforços de protensão nos cabos de aço, o esforço não permanece constante ao longo do mesmo. Existem muitos fatores que influenciam para que haja essa variação de tensão, dentre eles a própria técnica de protensão.

Cabe ao projetista determinar qual será o seu valor a qualquer seção, combinação de carregamentos ou época na vida da estrutura, tanto as condições de utilização com as de estado limite último estejam verificadas, pois, vai existir uma diminuição do esforço de protensão ao longo do cabo.

Essa chamada de diminuição de esforço de protensão é decorrente das perdas de protensão, sendo elas chamadas de perdas iniciais e perdas diferidas ou ao longo do tempo. As primeiras são devidas principalmente à forma como se procede a protensão e às propriedades elásticas do aço e do concreto. Já as perdas diferidas ou ao longo do tempo se devem às propriedades viscoelásticas tanto do concreto como do aço.

Para os painéis pré-moldados protendidos, são consideradas perdas iniciais: perdas por deformação da ancoragem, perdas por deformação imediata e perdas por relaxação da armadura durante a cura do concreto. As perdas diferidas ou perdas ao longo do tempo, podemos caracterizar algumas como: perda por retração do concreto, perdas por efeito de fluência do concreto e perda por relaxação da armadura de protensão.

Conforme é feito a utilização da protensão, a tensão ao longo de um cabo vai se alterando, em geral, podendo diminuir-se por conta das perdas imediatas, os fenômenos reológicos relacionados ao concreto e ao aço também já começam a atuar, ou seja, as características mecânicas e elásticas desses materiais variam ao longo do tempo quando solicitados, seja por esforço ou por deformação.

Tais fenômenos reológicos são a retração e fluência do concreto e a relaxação da armadura. A armadura de protensão adquire a maior parte de seu esforço a partir de seu alongamento, que é mantido através de sua ancoragem à estrutura de concreto ou através da aderência à mesma. Dessa maneira, se a estrutura de concreto se deforma (se encurta) ao longo do tempo, parte do alongamento da armadura desaparecerá, ou seja, haverá uma perda de protensão da armadura. Essas perdas se dão, portanto, devido à retração e à fluência do concreto. Já quando a armadura é alongada e mantida dessa forma, há uma tendência da tensão do aço diminuir com o tempo, causando a perda por relaxação do aço.

A retração não depende de alguma ação, pois o fenômeno pode ocorrer até quando o concreto esteja em estado nulo de tensões devido a ações externas, com tudo a armadura da peça de concreto protendido ou armado não deixa a retração livre da peça, embora muitas vezes esse efeito é desprezado. Então, quando se considera a retração ocorrendo sem que haja impedimento às deformações provocadas, diz se tratar de retração livre e são esses valores que, em geral, as experiências apresentam chamando-se a atenção que, na prática, é praticamente impossível isto ocorrer.

Deste modo como a retração livre, a fluência pura é aquela devida a uma ação introduzida no tempo t_0 e mantida constante ao longo do tempo, porém, como se trata da protensão, a própria perda por fluência e à retração diminui ao longo do tempo. Com isso a fluência na prática não é pura, embora os valores desta podem ser considerados a favor da segurança, pois são maiores que a relativa à fluência não pura. Um detalhe importante, que as ações que provocam a fluência têm caráter permanente, sendo assim, as ações acidentais têm curta duração e não provocam a deformação ao longo do tempo, porém, para edificações residenciais e comerciais, pode-se considerar a combinação quase permanente da NB1 como causadora da fluência e, portanto, consideram-se os efeitos de protensão, peso próprio, sobrecarga permanente e 20% da carga acidental.

É preciso também destacar a perda por relaxação, que depende de como a armadura está tensionada, mas também como no caso da fluência decresce devido às outras perdas e inclusive à própria, havendo uma perda menor que a devida à relaxação pura.

4.4 Deformações excessivas em painéis pré-moldados protendidos

Desse jeito como todo elemento, tanto em concreto protendido como em concreto armado é possível observar deformações nas peças, trata-se de valores em que sejam respeitados os limites estabelecidos para a utilização normal da estrutura.

Um problema de deformação que temos nos painéis pré-moldados protendidos é a contra flecha, a qual causa uma dificuldade na hora de montagem.

Não tendo controle dessa situação de deformação, a peça apresenta uma curvatura exagerada, fazendo com que as peças não se encaixem, e assim ficando maior do que o projetado, tendo que fazer recortes e acabamentos, para que fique na medida adequada.

Os deslocamentos excessivos e a tendência à vibração podem ser indesejáveis por motivos descritos na NBR 6118(2014), que aqui se seguem resumidamente:

- aceitabilidade sensorial: limita-se a deformação para que não ocorram vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável;
- efeitos específicos: os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;
- efeitos em elementos não estruturais: deslocamentos estruturais podem ocasionar o mau funcionamento de elemento que, apesar de não fazerem parte da estrutura, estão ligados a ela;

- efeitos em elementos estruturais: os deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural, provocando afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas. Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.

5 | ROTEIRO PARA DETERMINAÇÃO DA ARMADURA LONGITUDINAL DOS PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS PROTENDIDOS

O roteiro apresentado a seguir, consta uma metodologia para ser seguida, contendo a determinação da armadura longitudinal de um painel pré-fabricado protendido, que pode ser colocado como:

1) A obtenção de todos os dados iniciais, dentre elas características do elemento (tipo de concreto, aço, seção transversal, etc), os carregamentos a serem considerados, as características geométricas da seção e as condições ambientais. As dimensões da seção transversal devem ser obtidas a partir do manual do fabricante do equipamento utilizado para a produção dos painéis;

1.1) Determinação dos carregamentos:

Os carregamentos são considerados linearmente, ou seja, o painel pode ser considerado como uma viga de $b_w=125\text{cm}$, 150cm e 100cm ;

Para a determinação de carregamento, é apenas considerado o peso próprio da peça.

Onde:

Peso próprio – $g_1 = A \cdot \gamma_{\text{concreto}}$

1.2) Determinação dos esforços máximos:

Como o painel é considerado simplesmente apoiado, os momentos fletores e força cortante são calculados com as expressões abaixo:

- Momento fletor:

$$M = \frac{p \cdot l^2}{8} \quad (\text{eq. 6})$$

- Força cortante:

$$V = \frac{p \cdot l}{2} \quad (\text{eq. 7})$$

Onde:

M – momento fletor;

V – força cortante;

p – carregamento linearmente distribuído;

l – vão do painel.

2) Determinação da armadura de protensão A_p no estado limite último no tempo “infinito”. Aqui ainda se trata de um pré-dimensionamento, por isso devem ser consideradas decorridas todas as perdas, adotando-se um valor para tal. A seguir as equações para a determinação da quantidade de armadura a utilizar:

$$\beta_c = \frac{Md}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

Onde:

M_d – Momento solicitante de cálculo máximo;

b_w – Largura da seção;

d – Altura útil;

f_{cd} – resistência de cálculo do concreto;

$$A_p = \frac{Md}{\beta_z \cdot d \cdot \sigma_{pd}}$$

Onde:

A_p – área total de cabos;

M_d – momento solicitante máximo;

β_z – coeficiente obtido pela tabela de M. A. Marino (2006), dada também no anexo II;

d – altura útil;

σ_{pd} – tensão na armadura de protensão no tempo infinito devido o pré-alongamento e deformação da seção para que obtido o equilíbrio na flexão.

3) Verificação do estado limite de serviço no tempo “zero”, sendo que o único carregamento atuante é o peso próprio. É necessário calcular a distância em que ocorre a transferência de protensão e em seguida são feitas as verificações. A força de protensão é dada através do valor de A_p obtido no item 2. Consideram-se os limites de compressão excessiva (na data da liberação de protensão) e descompressão. Caso as duas condições estejam atendidas (a de tração e a de compressão), ir para o item 5. A seguir as equações utilizadas nas verificações de tensões:

3.1) Distância de regularização das tensões e comprimento de transferência da protensão:

$$l_{bpd} = \sqrt{h^2 + (0,6 \cdot l_{bpt})^2} \geq l_{bpt}$$

Onde:

l_{bpd} – distância de regularização das tensões;

l_{bpt} – comprimento de transferência da protensão, calculada pela equação:

$$l_{bpt} = \frac{70 \cdot 0,5 \cdot \phi \cdot \sigma_{pi}}{36 \cdot f_{bpd}}$$

Onde:

σ_{pi} – tensão do aço no instante considerado;

ϕ – diâmetro do aço;

f_{bpd} – resistência de aderência de cálculo entre a armadura e o concreto na ancoragem da armadura de protensão (pré-tração), obtido no item 9.3.2.2 da NBR 6118:2003.

OBS.: se a liberação da protensão é considerado como não gradual, o resultado da equação deve ser considerado 25% maior

3.2) Verificação no tempo zero:

$$\sigma = \frac{N_p}{A} \pm \frac{N_p \cdot e}{W} \mp \frac{M_g}{W}$$

Onde:

σ – Tensões normais no concreto junto à borda inferior ou superior;

N_p – Esforço normal de protensão na data da liberação da protensão;

e – Excentricidade do cabo na seção simples;

A – Área da seção transversal inicial do concreto;

W – Módulo de resistência da seção inicial em relação ao bordo inferior ou superior dependendo da fibra a ser considerada;

M_g – Momento fletor devido à ação de peso próprio da seção do painel.

OBS.: Os valores das tensões nas fibras inferiores e superiores são limitados, conforme item 17.2.4.3.2 da NBR 6118:2003 por:

$$0 \leq \sigma \leq 0,7f_{ck} \rightarrow \text{para combinação quase permanente};$$

$$-1,2f_{ct} \leq \sigma \leq 0,7f_{ck} \rightarrow \text{para a combinação frequente};$$

4) Ocorrendo tração nas fibras superiores, acrescentam-se cordoalhas nas mesmas. Não sendo possível eliminar a tração e a compressão excessiva, verificar outro

elemento de maior altura;

5) Determinação das perdas de protensão considerando as imediatas e diferidas. No caso das diferidas, consideram-se as etapas construtivas para a determinação de coeficientes adequados. Em geral, estipulam-se pelo menos quatro etapas em que atuam os carregamentos nas seções simples e compostas. A seguir as equações para determinação das perdas de protensão.

5.1) Perdas Inicial por ancoragem da armadura:

$$\Delta\sigma_{anc} = E_p \cdot \varepsilon_l$$

Onde:

$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L}$ – Deformação decorrente do aço conforme a pista de protensão e sistema de ancoragem;

Δ_l – Acomodação ou recuo característico da ancoragem (valor que pode ser medido nas fábricas);

L – Comprimento da pista de protensão;

E_p – Módulo de elasticidade do aço.

5.2) Perda por relaxação da armadura:

$$\sigma_r = \sigma_{pi} \cdot \Psi_{(t,t_0)}$$

Onde:

$\Psi_{(t,t_0)} = \Psi_{1000} \cdot \left(\frac{t-t_0}{41,67}\right)^{0,15}$ – Coeficiente adimensional, sendo tem dias;

Ψ_{1000} – Coeficiente obtido pela tabela 8.3 da NBR 6118:2003, fazendo-se a relação entre a tensão no instante t_0 e a tensão última de protensão no aço;

σ_{pi} – Tensão do aço no instante considerado.

5.3) Perda Imediata do concreto:

$$\Delta\sigma_{pd} = \sigma_{cgcabo} \cdot \alpha$$

Onde:

$\sigma_{cgcabo} = \frac{N_p}{A} + \frac{N_p \cdot e^2}{I} - \frac{M \cdot e}{I}$ – Coeficiente adimensional;

$\alpha = \frac{E_p}{E_c}$ – Relação entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto;

M – Soma dos momentos fletores na seção devido às ações atuantes;

N_p – esforço normal de protensão na data da liberação da protensão;

e – Excentricidade do cabo na seção;

A – Área da seção transversal inicial do concreto;

I – Momento de inércia da seção.

5.4) Perda diferida por fluência do concreto:

$$\sigma_{p,c} = \Delta\sigma_{cg\text{cabo},c} \cdot \alpha$$

Onde:

$\sigma_{cg\text{cabo},c} = \left(\frac{N_p}{A} + \frac{M_p \cdot e}{I} \right) \cdot \varphi(t, t_0) - \frac{M \cdot e}{I} \cdot \varphi(t, t_0)$ – Tensão no centro de gravidade dos cabos;

$\varphi(t, t_0)$ – coeficiente de fluência dado pelo período do carregamento considerado, calculado em A.2.2.3 – Anexo A da NBR 6118:2003. No caso da expressão anterior os valores dos momentos permanentes devem ser multiplicados pelo coeficiente de fluência correspondente que depende da data em que a ação atua;

M_p – Momento devido à força de protensão na seção;

M – Soma dos momentos fletores na seção devida às ações atuantes;

e – Excentricidade do cabo na seção;

5.5) Perda diferida por retração do concreto

$$\Delta\sigma_{cg,s} = \varepsilon_{cs\infty} \cdot [\beta_s(t) - \beta_s(t_0)] \cdot E_p$$

Onde:

$\varepsilon_{cs\infty}(t, t_0)$ – coeficiente de retração obtido em A.2.3 – Anexo A da NBR 6118:2003;

$\beta_s(t)$ e $\beta_s(t_0)$ – coeficiente obtidos através da figura A.3, item A.2.3.2 – Anexo A da NBR 6118:2003.

5.6) Equação para a determinação das perdas de protensão considerando-as como perdas progressivas:

$$\Delta\sigma_p(t, t_0) = \frac{\varepsilon_{cs}(t, t_0) \cdot E_p - \alpha_p \cdot \sigma_{c,p0g} \cdot \varphi(t, t_0) - \sigma_{p0} \cdot \chi(t, t_0)}{\chi_p + \chi_c \cdot \alpha_p \cdot \eta \cdot \rho_p}$$

Onde:

$\varepsilon_{cs}(t, t_0) \cdot E_p$ – Parcela relativa à retração do concreto, calculada pela equação 15;

$\alpha_p \cdot \sigma_{c,p0g} \cdot \varphi(t, t_0)$ – Parcela referente à fluência do concreto, obtida pela equação 14;

σ_{p0} – Tensão inicial, considerando-se que já ocorreram as perdas iniciais;

$X(t, t_0) = -\ln[1 - \psi(t, t_0)]$ – Com $\psi(t, t_0)$ calculado no item 5.2;

$X_p = 1 + X(t, t_0)$

$X_c = 1 + 0,5 \cdot \varphi(t, t_0)$ – neste caso usa-se o valor inicial de $\varphi(t, t_0)$;

$\eta = 1 + e_s^2 \cdot \frac{A_c}{I_c}$;

$\rho_p = \frac{A_p}{A_c}$;

- e_p – Excentricidade do cabo na seção;
- A_c – Área de seção transversal de concreto;
- I_c – Inércia da seção de concreto;
- A_p – Área total de cabos de protensão.
- A – Área da seção transversal inicial do concreto;
- I – Momento de inércia da seção.

6) Dimensionamento do valor de A_p como no item 2, com o valor final das perdas já calculado;

7) Verificação em vazio como no item 3, com as perdas já calculadas;

8) Verificação do estado limite de serviço para a fissuração no tempo “infinito”, considerando-se as combinações frequente e quase permanente (usar coeficientes ψ_1 e ψ_2 da NBR 6118:2003) para as cargas acidentais. A força de protensão é dada através do valor de A_p obtido no item 6. Os limites de tensão são dados pela NBR 6118:2003 dependendo da condição de agressividade ambiental. Se as tensões não forem atendidas é possível aumentar a quantidade de cabos ou aumentar a altura da peça;

É necessário verificar se as tensões nas fibras inferiores e superiores atendem os critérios da norma.

8.1) Tensões nas fibras:

$$\sigma = \frac{N_p}{A} \pm \frac{N_p \cdot e}{W} \mp \sum \frac{M_i}{W_i}$$

Onde:

σ – Tensões normais no concreto junto à borda inferior ou superior;

N_p – esforço normal de protensão na data da liberação da protensão;

e – Excentricidade do cabo na seção;

A – Área da seção transversal inicial do concreto;

W_i – Módulo de resistência da seção em relação ao bordo inferior que deve ser considerado para a etapa i;

M_i – Momento fletor devido à ação de peso próprio da seção do painel.

8.2) Verificação das tensões

Os valores das tensões nas fibras inferiores e superiores são limitados, conforme item 17.2.4.3.2 da NBR 6118:2003 por:

$$0 \leq \sigma \leq 0,7 f_{ck} \rightarrow \text{para combinação quase permanente;}$$

$$-1,2f_{ct} \leq \sigma \leq 0,7f_{ck} \rightarrow \text{para a combinação frequente;}$$

9) Verificação das deformações, determinando os valores das flechas para cada carregamento. No caso de protensão limitada, compara-se o momento total com o momento de fissuração e em seguida determina-se o coeficiente de fluência que atua desde a data final até a idade considerada da introdução do carregamento, sendo, portanto, variável para cada um deles. Comparar com os valores limites descritos na norma. A seguir as verificações de deformações excessivas:

$$a_p = \frac{M_p \cdot l^2}{8 \cdot E \cdot I}$$

$$a_v = \frac{5 \cdot v \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Onde:

a_p – flecha devido ao efeito da protensão;

M_p – Momento fletor devido à força de protensão;

a_v – flecha devido à intensidade considerada;

v – intensidade considerada;

l – vão do elemento considerado;

E – módulo de elasticidade do concreto;

I – momento de inércia da seção de concreto correspondente a etapa considerada;

(OBS.: a flecha deve ser calculada multiplicando-se cada uma delas pelo coeficiente de fluência respectivo para cada etapa estipulada)

10) Verificação do cisalhamento das situações com seção simples. A seguir as equações utilizadas para a determinação do cisalhamento em painéis sem armadura para força cortante:

$$V_{Rd} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_t) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

Onde:

$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot f_{cd}$ – resistência de projeto ao cisalhamento;

$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$ – Resistência à tração obtido no item 8.2.5 da NBR6118:2003;

$\rho_t = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$ – Coeficiente adimensional;

A_{s1} – área da seção transversal de concreto do elemento;

b_w – largura da seção;

d – Altura útil;

$\sigma_{cp} = \frac{N_{sd}}{A_c}$ – Tensão na seção de concreto;

N_{sd} – força de protensão total na seção;

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As peças de concreto pré-fabricados protendido, são consideradas as peças com uma qualidade superior, quando comparada com outros tipos, isso pelo fato de estar falando sobre uma indústria, que segue padrões de qualidade, como exemplo, ensaios laboratoriais, utilização de agregados, aditivos, entre outros. Os painéis pré-fabricados protendidos, entram nessas peças, mas claro, para a obtenção de uma qualidade exemplar, devemos nos atentar no início, onde começamos a dimensionar, para que possamos executar com rapidez, qualidade e eficaz. Com tudo, o trabalho de dimensionamento não é tão simples, para chegar nesse resultado é preciso um projeto de fácil leitura, entendimento rápido e simples, porém bem detalhado, para se atentar a cada detalhe que possa comprometer a sua peça, tanto na parte industrial como na parte de montagem.

REFERÊNCIAS

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 16475/2017. **Painéis de Parede de Concreto Pré-Moldado - Requisitos e Procedimentos** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6118/2014. **Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 9062/2001. **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ACKER, A. V. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. Tradução: Marcelo Ferreira, ABCIC, 2002. 2012.

CARVALHO, Roberto Chust. **Estruturas em concreto protendido**. Pini, São Paulo

EL DEBS, M. K. **Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações**. 1. ed. São Carlos: EESC – USP, 2000

LEONHARDT, F. **Construções de Concreto. Vol.5 – Concreto Protendido**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1983.

A

Areia 40, 41, 42, 43, 45, 46

C

Concreto protendido 14, 15, 16, 17, 18, 22, 30

Construção 2, 4, 6, 7, 15, 16, 17, 22, 39, 46

E

Economia 2, 40

Erro médio absoluto 32, 35, 36, 38

Erro médio quadrático 32, 35, 36, 38

Estação total 31, 32, 36, 37

Estradas 1, 2, 3, 11, 13

F

Fibras de juta 40, 41, 42, 46

Fibras de malva 40, 42

M

Mobilidade 1, 2, 3, 4, 7

P

Painéis 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 29, 30

Pavimento 2, 3, 13

Protensão 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30

S

Segurança 1, 3, 4, 17, 22

Solo-cimento 40, 41, 44, 45, 46, 47

T

Tijolos 6, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

Transporte 2, 5, 9, 11, 12

V

Vias 1, 2, 3

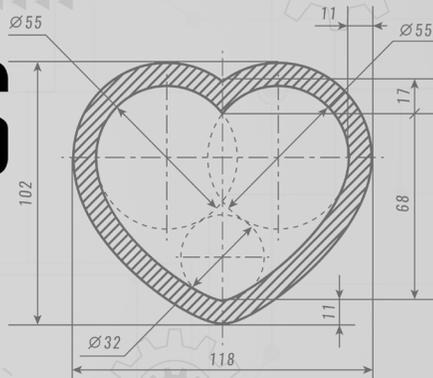
Z

Zona rural 1, 2, 3, 11

Zona urbana 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13

COLEÇÃO

“ENGENHARIAS EU TE AMO”



ENGENHARIA CIVIL

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

www.facebook.com/atenaeditora.com.br

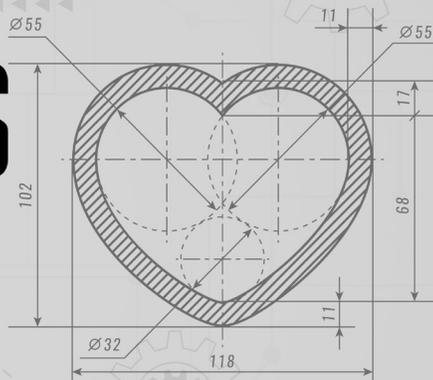


Atena
Editora

Ano 2023

COLEÇÃO

“ENGENHARIAS EU TE AMO”



ENGENHARIA CIVIL

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

@atenaeditora

www.facebook.com/atenaeditora.com.br


Atena
Editora
Ano 2023