

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANDREUS DA SILVA BORBA

**ANÁLISE DAS PERDAS PROGRESSIVAS EM UMA VIGA DE
CONCRETO PROTENDIDO PÓS-TRACIONADA**

Santa Maria, RS

2021

Andreas da Silva Borba

**ANÁLISE DAS PERDAS PROGRESSIVAS EM UMA VIGA DE CONCRETO
PROTENDIDO PÓS-TRACIONADA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof^o. Dr. Almir Barros da Silva Santos Neto

Santa Maria, RS

2021

Andreas da Silva Borba

**ANÁLISE DAS PERDAS PROGRESSIVAS EM UMA VIGA DE CONCRETO
PROTENDIDO PÓS-TRACIONADA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Civil**.

Aprovado em 09 de fevereiro de 2021:

Almir Barros da Silva Santos Neto, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

André Lübeck, Dr. (UFSM)

Alisson Simonetti Milani, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, RS
2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Dr. Almir Barros da Silva Santos Neto que aceitou meu convite de ser meu orientador, por dispor do seu tempo me ajudando, aconselhando e me conduzindo neste trabalho.

À minha família por estar todo esse tempo me apoiando, acreditando juntamente comigo no meu sonho. Minha mãe Salete S. da Silva que esteve do meu lado, me dando força para que nunca desistisse dos meus objetivos, torcendo sempre por mim e fazendo de tudo para me ver feliz. Ao meu pai Carlos R.R. Borba que acreditou no meu potencial. Agradeço as minhas irmãs Andressa da S. Borba e Samara da S. Borba, pelo amor e carinho que sempre tiveram por mim. Agradeço a minha avó Cleci R. Borba por ser o meu exemplo de vida.

Agradeço as minhas amigas Claudete, Gabriela, Noeli, Tatiele e Tamires, que sempre me trouxeram dias felizes, além do companheirismo, me escutando e me dando todo apoio que um amigo poderia dar.

Agradeço às minhas tias Simone Borba e Daniela Santos por serem pessoas incríveis comigo, onde sempre estiveram do meu lado, me dando força, se preocupando e agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para meu crescimento pessoal para que hoje eu pudesse estar aqui.

ANÁLISE DAS PERDAS PROGRESSIVAS EM UMA VIGA DE CONCRETO PROTENDIDO PÓS-TRACIONADA

AUTOR: Andreus da Silva Borba
ORIENTADOR: Almir Barros da Silva Santos Neto

O concreto protendido vem ganhando espaço no mercado da construção civil, assim como em projetos de obras de arte especiais, devido a necessidade de estruturas mais leves, esbeltas e de grandes vãos. A ABNT NBR 6118:2014 indica que as perdas da força de protensão em relação ao valor da tensão inicial aplicada pelo aparelho tensor devem ser previstas em projeto. Este trabalho tem como objetivo estudar as metodologias de cálculo para perdas progressivas conforme a ABNT NBR 6118:2014, simplificado do Eurocode 2 (2004) adaptado por Bastos (2019), Método Alternativo adaptado por Bastos (2019) e o Método de Vasconcelos (1980), considerando variações na umidade, tempo de início da força de protensão e propriedades da tensão do aço com o intuito de fazer uma análise e comparar estes resultados. Os valores obtidos pelos métodos de cálculo das perdas progressivas no geral, mostraram-se com grandes variações, onde o método alternativo adaptado por Bastos (2019) e o método de Vasconcelos (1980), possuem de maneira geral, uma sensibilidade para as variações de retração, fluência e relaxação do aço em função do tempo de início de protensão, além de que, os resultados obtidos das perdas progressivas são mais onerosos, em comparação as outras metodologias de cálculo da perda progressiva. O método simplificado da ABNT NBR 6118:2014, mostrou-se menos sensível as variações de fluência e retração e relaxação do aço comparado as outras metodologias de cálculo de perdas progressivas. O método aproximado da ABNT NBR 6118:2014, mostrou-se conservador nos resultados das perdas progressivas, pois o método não leva em consideração alguns fatores e coeficientes de redução como as outras metodologias de cálculo. O método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019), no geral foi o método que mais aproximou-se dos resultados das perdas progressivas pelas metodologias indicadas na ABNT NBR 6118:2014 para o cálculo das de perdas progressiva.

Palavras-chave: Concreto protendido. Perdas de protensão. Perdas progressivas. Processo simplificado. Processo aproximado. Método Alternativo.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE PROGRESSIVE LOSSES IN A POST-TENSIONED CONCRETE BEAM

AUTHOR: Andreus da Silva Borba
GUIDE: Almir Barros da Silva Santos Neto

The prestressed concrete has been gaining space in the civil construction market, as well as in projects of special art works, due to the need for lighter, slimmer structures and large spans. To ABNT NBR 6118:2014 indicates that the losses of the protrusion force in relation to the initial tension value applied by the tensioning device should be foreseen in the project. This work aims to study the calculation methodologies for progressive losses according to ABNT NBR 6118:2014, Eurocode 2 (2004) adapted by Bastos (2019), alternative method adapted by Bastos (2019) and the method of Vasconcelos (1980), considering variations in humidity, fictitious thickness, starting time of the protection force and tension properties of steel in order to make an analysis and compare these results. The values obtained by the progressive loss calculation methods, in general, showed great variations, where the alternative method adapted by Bastos (2019) and the vasconcelos method (1980), in general have a sensitivity for variations of retraction, fluency and steel relaxation as a function of the prestressing start time, in addition to that, the results obtained from progressive losses are more costly compared to other methodologies for calculating progressive loss. The simplified method of ABNT NBR 6118:2014, was less susceptible to variations in the results obtained from progressive losses, as well as the approximate method of ABNT NBR 6118:2014, where it remained with little variation in progressive losses, showing itself conservative in the results of progressive losses. The simplified Eurocode 2 method adapted by Bastos (2019), in general, was the method that came closest to the results of progressive losses by the methodologies indicated in ABNT NBR 6118: 2014 for the calculation of progressive losses.

Keywords: Concrete protended. Protension losses. Progressive losses. Simplified process. Approximate process. Alternative method.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Ponte Luzancy na França	17
Figura 2 - Ponte do Galeão-Rio Janeiro de 1948	18
Figura 3 - Ponte do Galeão-Rio.....	18
Figura 4 - Etapas de execução de vigas calhas e detalhe da ancoragem da armadura	20
Figura 5 - Pista de Protensão.....	21
Figura 6 – Viga armada e disposição da bainha dos cabos de protensão	22
Figura 7 –Viga protendida pós-tracionada	23
Figura 8 –Laje maciça protendida pós-tracionada.....	24
Figura 9 – Laje nervurada protendida pós-tracionada.....	25
Figura 10 – Diagrama tensão-deformação para aços de armaduras ativas.....	26
Figura 11 – Bainhas metálicas	27
Figura 12 –Cunha e porta-cunha para ancoragem.....	28
Figura 13 –Dispositivos de ancoragem	28
Figura 14 –Ancoragem passiva de cordoalhas engraxadas.....	28
Figura 15 - Diagrama força de protensão x tempo para peça protendida pré-tracionada	29
Figura 16 -Diagrama força de protensão x tempo para peça protendida pós-tracionada	30
Figura 17 -Peça pré-moldada de concreto protendida, após a liberação dos cabos protendidos.....	31
Figura 18 - Perda por atrito ao longo da bainha no estiramento da armadura	32
Figura 19 - Perda por atrito nos cabos	32
Figura 20 – Perda de tensão por atrito e por escorregamento na ancoragem	33
Figura 21 - Comportamento da retração do concreto ao longo do tempo	35
Figura 22 – Ilustração da relaxação do aço e da fluência do aço.....	37
Figura 23 – Seção da viga e suas dimensões.....	46
Figura 24 - Sistema estático da viga e seu comprimento.....	46
Figura 25 - Posição dos cabos de protensão no meio da viga	48
Figura 26 - Excentricidade dos cabos de protensão	49
Figura 27 - Excentricidade do cabo equivalente.....	49
Figura 28 - Perímetro da peça em contato com o ar	50
Figura 29 - Perdas progressivas para umidade de 40%	54
Figura 30 - Perdas progressivas para umidade de 70 %	57
Figura 31 - Perdas progressivas para umidade de 75%	59
Figura 32 - Perdas progressivas para umidade de 90%	59
Figura 33 - Perdas progressivas devido à tensão de $0,5 f_{ptk}$ e propriedades do aço de protensão	62
Figura 34-Perdas progressivas devido à tensão de $0,6 f_{ptk}$ e propriedades do aço de protensão	64
Figura 35-Perdas progressivas devido à tensão de $0,7 f_{ptk}$ e propriedades do aço de protensão	65
Figura 36-Perdas progressivas devido à tensão de $0,8 f_{ptk}$ e propriedades do aço de protensão	67
Figura 37-Perdas progressivas devido à tensão de $0,8 f_{ptk}$ e propriedades do aço de protensão	67

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 –Valores característicos superiores da deformação específica de retração $\epsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0)$ e do coeficiente de fluência $\phi(t_{\infty}, t_0)$	36
Tabela 2 – Valores de Ψ_{1000} , em porcentagem	38
Tabela 3 – Propriedade geométricas	47
Tabela 4 – Momento fletor máximo (meio do vão)	48
Tabela 5 – Excentricidade dos cabos em relação ao topo da viga.....	49
Tabela 6 - Excentricidade do cabo equivalente em relação ao cabo médio.....	50
Tabela 7 –Valores calculados por Duarte et al. (2005)	51
Tabela 8 –Resumos de tensão devido as perdas imediatas e progressivas e totais.	51
Tabela 9 – Resultados das perdas progressivas para umidade de 40% de umidade e h_{fic} 28,447 cm	54
Tabela 10 –Resultados das perdas progressivas para umidade de 55% de umidade e h_{fic} 30,64 cm	55
Tabela 11 –Resultados das perdas progressivas para umidade de 70% de umidade e h_{fic} 40 cm	57
Tabela 12 –Resultados das perdas progressivas para umidade de 75% de umidade e h_{fic} 48,49 cm	58
Tabela 13 –Resultados das perdas progressivas para umidade de 90% de umidade e h_{fic} 120,33 cm	60
Tabela 14 –Resultados das perdas progressivas para uma tensão de $0,5f_{ptk}$	62
Tabela 15 –Resultados das perdas progressivas para uma tensão de $0,6 f_{ptk}$ e $\Psi_{1000} = 1,3$ RB e $\Psi_{1000} = 3,5$ RN	63
Tabela 16 –Resultados das perdas progressivas para uma tensão de $0,7 f_{ptk}$ e $\Psi_{1000} = 2,5$, RB e $\Psi_{1000} = 7,0$ RN.....	65
Tabela 17 –Resultados das perdas progressivas para uma tensão de $0,8 f_{ptk}$ e $\Psi_{1000} = 3,5$ RB e $\Psi_{1000} = 12,0$ RN.....	66

LISTAS DE SÍMBOLOS

A_c	Área da seção bruta do concreto
A_p	Área do aço protendido
μ	Coeficiente de atrito aparente entre o cabo e a bainha
k	Coeficiente de perda por metro provocada por curvaturas não intencionais do cabo
ϵ_{1s}	Coeficiente que depende da umidade relativa do ambiente e da consistência do concreto
ϵ_{2s}	Coeficiente que depende da espessura fictícia da peça
γ	Coeficiente dependente da umidade relativa do ambiente
α	Coeficiente que depende da velocidade de endurecimento do cimento
$\beta_s(t,t_0)$	Coeficiente relativo à retração ao instante de tempo t, t_0
$\varphi(t,t_0)$	Coeficiente de fluência
φ_a	Coeficiente de deformação rápida
$\psi(t,t_0)$	Coeficiente de relaxação do aço
$\chi(t,t_0)$	Coeficiente de fluência do aço
ψ_{1000}	Coeficiente de relaxação que ocorre após 1.000 horas a 20° C
$\chi(t,t_0)$	Coeficiente de fluência do aço
$\varphi_{f\infty}$	Coeficiente de deformação lenta irreversível
$\beta_f(t,t_0)$	Coeficiente relativo à fluência irreversível
β_d	Coeficiente relativo à fluência reversível
$\epsilon_{aço}$	Deformação do aço, por ocasião do estiramento
ϵ_{cs}	Deformação específica de retração do concreto ao nível da armadura, no tempo considerado
ϵ_{cca}	Deformação rápida irreversível, primeiras 24 horas
d	Deslocamento do ponto de ancoragem/acomodação

ε_{ccf}	Deformação lenta irreversível (umidade, consistência, espessura, idade)
ε_{ccd}	Deformação lenta reversível, depende apenas da duração do carregamento
$\varepsilon_{cc,tot}$	Deformação total do concreto
δ	Escorregamento/acomodação na ancoragem
h_{fic}	Espessura fictícia
e_p	Excentricidade da força de protensão P_0 em relação ao centro de gravidade da seção homogeneizada
P_i	Força máxima aplicada à armadura de protensão pelo equipamento de tração
t_0	Idade fictícia do concreto no instante em que o efeito de retração e fluência começa a ser considerado
t	Idade fictícia do concreto no instante considerado
E_c	Módulo de elasticidade do concreto
E_p	Módulo de elasticidade do aço
I	Momento de inércia
$E_{c,28}$	Módulo de elasticidade tangente inicial, para 28 dias
μ_{ar}	Parte do perímetro externo da seção transversal da peça em contato com o ar
$\Delta\sigma_{Pr}(t;t_0)$	Perda de tensão por relaxação pura desde o instante t_0 do estiramento da armadura até o instante t considerado
α_p	Razão modular
f_{ptk}	Resistência característica à tração do aço de protensão
σ_{Pi}	Tensão na armadura de protensão aplicada pelo equipamento de tração
σ_{P_0}	Tensão na armadura de protensão ($t=t_0$)
σ_p	Tensão atuante no concreto devido à protensão
$\sigma_{c,p0g}$	Tensão no concreto adjacente ao cabo resultante
ρ_p	Taxa geométrica da armadura de protensão

σ_{cp} Tensão no concreto no nível da resultante de protensão, devida à protensão simultânea de todos os cabos

$\Delta\sigma_p$ Variação da tensão da armadura de protensão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2 OBJETIVO.....	15
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 BREVE HISTÓRICO	17
2.2 CONCRETO PROTENDIDO	19
2.3 TIPOS DE PROTENSÃO	19
2.3.1 Protensão com pré-tração (aderência inicial)	19
2.3.2 Protensão com pós-tração com e sem aderência	21
2.4 AÇOS DE PROTENSÃO	25
2.5 BAINHAS E ANCORAGEM.....	27
3 PERDAS DE PROTENSÃO	29
3.1 PERDAS IMEDIATAS	30
3.1.1 Perdas por deformação imediata do concreto	30
3.1.2 Perdas por acomodação da ancoragem.....	33
3.2 PERDAS PROGRESSIVAS	34
3.2.1 Retração do concreto	34
3.2.2 Fluência do concreto	35
3.2.3 Relaxação do aço.....	36
3.3 PROCESSO SIMPLIFICADO DA NBR 6118:2014	39
3.4 PROCESSO APROXIMADO DA NBR 6118:2014	41
3.5 MÉTODO SIMPLIFICADO DO EUROCODE 2	42
3.6 MÉTODO SIMPLIFICADO ALTERNATIVO.....	43
3.7 MÉTODO DE VASCONCELOS (1980)	45
4 METODOLOGIA	46
5 RESULTADOS	53
5.1 PERDAS PROGRESSIVAS DEVIDO A RETRAÇÃO E FLUÊNCIA DO CONCRETO	53
5.2 PERDAS PROGRESSIVAS DEVIDO A RELAXAÇÃO DO AÇO	61
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
6.1 CONCLUSÃO.....	69
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	71
REFERÊNCIAS	72
ANEXO A - Novos valores de deformação específica para retração e coeficientes de fluência do concreto.....	74
ANEXO B - Tabelas de cálculos para cada metodologia de perda progressivas, considerando umidade relativa do ar e tempo de início de protensão.....	76
ANEXO C - Tabelas de cálculos para cada método de perda progressivas, considerando tensões variando de 0,5 f_{ptk} a 0,8 f_{ptk} , coeficiente relaxação de ψ_{1000} para aços de relaxação baixa (RB) e Relaxação normal (RN).....	116

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O concreto é um material que possui uma boa resistência mecânica à compressão e por outro lado baixa resistência à tração. O aço, por sua vez, tem uma boa resistência à tração e, a combinação desses dois materiais, dá-se o concreto armado. O concreto protendido tem em sua composição o concreto e o aço, porém se diferencia apenas no aspecto construtivo do concreto armado, ambos possuem os mesmos materiais e compartilham das mesmas propriedades.

A peça de concreto protendido aliada ao aço de elevada resistência possibilita reduzir ou eliminar tensões de tração e a fissuração, resultando em estruturas mais rígidas e com flechas menores, o que visa importantes vantagens técnicas e econômicas para vão maiores de 10 metros, além de obter estruturas mais leves, com maior desempenho dos materiais, resultando em estruturas mais duráveis.

Ao se protender uma estrutura são consideradas as propriedades de fluência e a retração do concreto, em que está relacionada a perda de água adsorvida na estrutura e, com isso, ocasiona uma perda de volume, o qual está diretamente ligada a perda do tensionamento da protensão, da mesma maneira que o aço, pelas suas propriedades, que ao ser alongado e muito tempo tracionado, acaba perdendo parte do tensionamento do fio, o que ocasiona a perda de protensão devido a relaxação do aço. Sendo o tempo uma variável ligada a este processo, pois existem perdas do tipo imediatas que acontecem durante e após concluir-se a protensão e, perdas progressivas, que acontecem ao longo da vida útil da estrutura.

De fato, é de grande importância que se tenha esses valores das perdas de tensão, para que se possa calcular uma sobrecarga a fim de minimizar as perdas.

Este trabalho tem como objetivo estudar, a partir de uma viga isostática biapoiada, diferentes metodologias de cálculos de perdas progressivas para que se possam fazer interações desses resultados e compará-los de forma a se obter o comportamento das perdas conforme cada método.

1.2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo geral analisar diferentes metodologias para o cálculo das perdas progressivas em uma viga isostática protendida.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Calcular as perdas progressivas em uma viga de concreto protendido, considerando o Processo Aproximado e o Simplificado da ABNT NBR 6118:2014, considerando o Processo Simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019), o Processo Simplificado Alternativo adaptado por Bastos (2019) e o Método de Vasconcelos (1980).

b) Comparar os valores obtidos das perdas progressivas pelas diferentes metodologias, analisando diferentes umidades relativas do ar, tempo de início de protensão, diferentes tensões iniciais de protensão e coeficiente de relaxação.

1.4 JUSTIFICATIVA

As perdas de protensão do tipo progressivas estão referenciadas na NBR 6118:2014. Além dessas metodologias de cálculos para perdas progressivas que a norma indica, existem outros métodos referenciados em bibliografias que analisam essas perdas.

Justifica-se que este trabalho contribui para o estudo desses métodos de perdas progressivas, com intuito de obter resultados e comparar com as metodologias de perdas normatizados.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está separado em ordem cronológica, relacionando os assuntos de acordo com os temas de protensão, estando apresentados da seguinte forma:

No capítulo 1 será apresentado a introdução do trabalho, objetivos, objetivos específicos, justificativa e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 será apresentado a revisão bibliográfica, breve histórico, concreto pretendido, tipos de protensão e, no capítulo 3, perdas de protensão imediatas, perdas de protensão progressivas, segundo a norma NBR 6118:2014, Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019), processo simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019) e Método de Vasconcelos (1980).

No capítulo 4 é apresentada a metodologia, o modelo de viga, considerando os dados utilizados e os cálculos das perdas progressivas conforme os métodos abordados neste trabalho, e, no capítulo 5, serão apresentados os resultados obtidos conforme os cálculos do capítulo anterior.

Por fim, no capítulo 6, será apresentada a conclusão deste trabalho e também sugestões de ideias propostas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

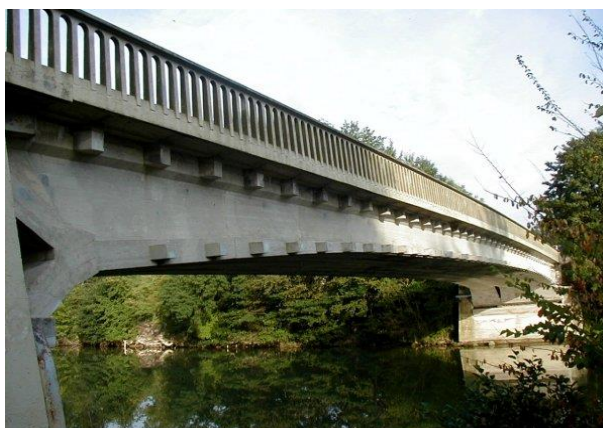
2.1 BREVE HISTÓRICO

O concreto protendido surgiu entre o final de 1800 e início de 1900, contudo, não se obteve resultados significativos na sua utilização, pois muitas propriedades importantes dos materiais, não haviam sido compreendidos na época. Um dos percussores desses estudos foi o engenheiro francês Eugene Freyssinet (DOLAN; HAMILTON, 2019).

Ele entendeu a importância das perdas de pré-tensão do aço e, a partir de conhecimentos prévios sobre o assunto, propôs soluções. O que antes não era levado em consideração, como por exemplo, as características do concreto, a fluência e retração, esses fenômenos passaram a ser estudada e a ser considerada nas estruturas protendidas, gerando bons resultados. No ano de 1940, Freyssinet inovou seu método de protensão com cabos e cordoalhas ancoradas em cunhas e, assim, empregadas esse método nos projetos, passou-se a projetar várias pontes, como a ponte de Luzancy na França no ano 1941 (Figura 1). Além de ganhar espaço nas literaturas da época. Esse método foi um marco para a inovação das construções e é utilizado até os dias de hoje.

Então, esse método de Freyssinet ganhou espaço em vários países, do mesmo jeito que, muitos pesquisadores começaram a estudar o seu método, inovando a sua utilização (NAAMAM, 2004).

Figura 1 - Ponte Luzancy na França



No Brasil, segundo Veríssimo e Cezar (1998), a primeira obra feita em concreto protendido foi a ponte do Galeão, no ano de 1948, no Rio de Janeiro (Figuras 2 e 3).

Todo material e projetos foram trazidos da França, utilizando o método de Freyssinet e, a segunda obra com este método foi a ponte de Juazeiro, com materiais já brasileiros, pois a partir do ano de 1952 a Siderúrgica Belgo-Mineira passou a produzir aço para protensão no Brasil. Então, o concreto protendido ganhou espaço nas obras civis, sendo normatizado, passando-se assim, dez décadas com a aplicação do método de Freyssinet.

Figura 2 - Ponte do Galeão-Rio Janeiro de 1948



Fonte: Mondorf (2006).

Figura 3 – Ponte do Galeão-Rio



Fonte: Notibras (2015).

2.2 CONCRETO PROTENDIDO

Conforme Carvalho (2017), nos dias atuais, tanto o concreto armado quanto o concreto protendido são especificados pela ABNT NBR 6118:2014 como sendo do mesmo tipo, ou seja, contento na sua composição os mesmos materiais, sendo estes os agregados (gráudo e miúdo), cimento, água e o aço, diferenciando-se apenas no método construtivo. Ambos são projetados para resistir os esforços de flexão na armadura longitudinal, havendo diferenciação do concreto armado para o concreto protendido em que, no concreto armado (armadura passiva), a armadura passa a resistir aos esforços após a deformação das fibras do concreto. Diferentemente do concreto protendido (armadura ativa), onde é introduzido, no elemento, forças externas, advindas de macacos hidráulicos, antes mesmo da deformação.

A ABNT NBR 6118:2014 ilustra a protensão do concreto da seguinte forma

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 o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado-limite último (ELU). (ABNT NBR 6118:2014)

Para se protender utiliza-se um cilindro hidráulico, onde traciona-se o cabo ou cordoalha de aço. Essa aplicação de protensão pode ser realizada em peças pré-fabricada ou antes mesmo da fabricação da peça. A ABNT NBR 6118:2014 indica três formas de aplicação de protensão, a primeira é o concreto com armadura ativa pré-tracionada com aderência inicial, a segunda é o concreto com armadura ativa pós-tracionada com aderência posterior e, por fim, armadura ativa pós-tracionada sem aderência.

2.3 TIPOS DE PROTENSÃO

2.3.1 Protensão com pré-tração (aderência inicial)

Nesse caso, a protensão com pré-tração (ABNT NBR 6118:2014) ou pré-tensão, ocorre quando a peça é pré-moldada em pistas de protensão e é feito o

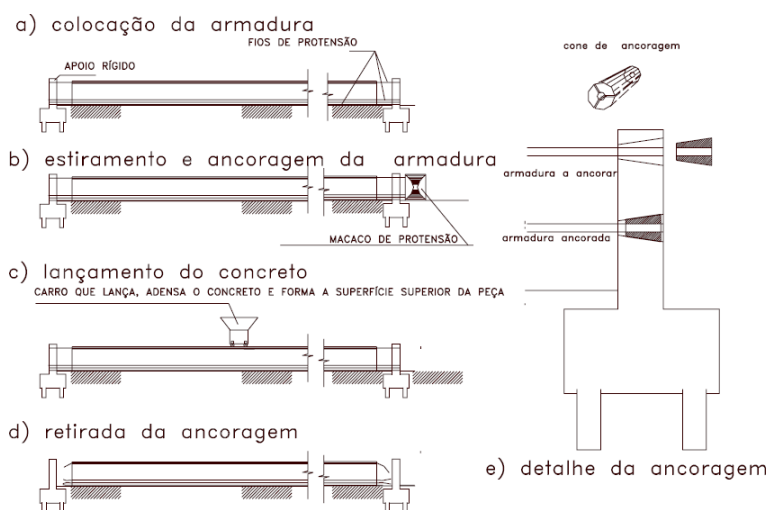
estiramento da armadura antes da concretagem. Esse tipo de peça é fabricada com dimensões e características em formas pré-definidas, a fim de que se possa ter uma produção rápida e de grande escala. A ancoragem é fixada nas extremidades por blocos de concretos e possui uma fundação para garantir que haja uma resistência necessária ao tracionamento da cordoalha. O estiramento é feito com um macaco hidráulico que fica apoiado nesse bloco. Após feito o tensionamento das cordoalhas ou fios, a peça é concretada na forma e assim que ganha a resistência necessária, são soltas as cordoalhas e, como a tendência do aço é de voltar ao seu estado natural de deformação, acaba por gerar na peça uma força de compressão, chamada também de protensão com pré-tração inicial (BASTOS, 2019).

A NBR 6118:2014 destaca a pré-tração da seguinte forma:

Concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é feito utilizando-se apoios independentes do elemento estrutural, antes do lançamento do concreto, sendo a ligação da armadura de protensão com os referidos apoios desfeita após o endurecimento do concreto; a ancoragem no concreto realiza-se somente por aderência (ABNT NBR 6118:2014).

Na Figura 4, no item a, mostra-se a colocação da armadura ativa presa às extremidades dos blocos; o item b demonstra o local que é feito o estiramento da armadura, onde é preso nas extremidades por cunhas; no item c é onde é feito a concretagem da peça, após o concreto ganhar resistência necessária é solto os cabos e, no item e, mostra-se o detalhamento da ancoragem dos fios.

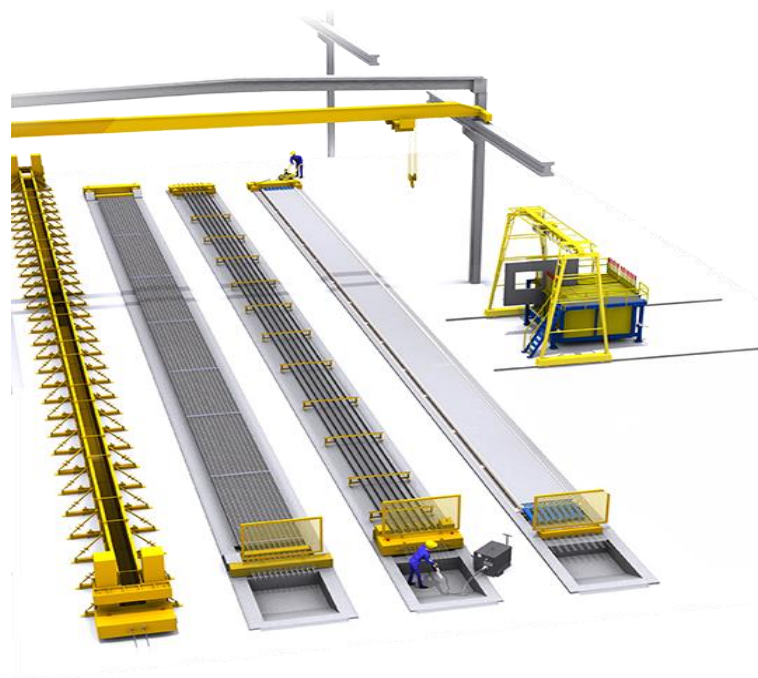
Figura 4 – Etapas de execução de vigas calhas e detalhe da ancoragem da armadura



Fonte: (CARVALHO, 2017, p.4).

A Figura 5 mostra uma pista de protensão para uma laje protendida e também uma viga protendida, pré-moldada.

Figura 5 - Pista de Protensão



Fonte: WCH equipamentos para pré-moldados (2021)

Pode-se observar na Figura 5 a pista de protensão, na sequência o estiramento dos cabos de aço na pista, com ajuda do aparelho tensor e, após feito o tensionamento dos cabos, estes estão prontos para receber o concreto.

2.3.2 Protensão com pós-tração com e sem aderência

A NBR 6118:2014 destaca a pós-tração com aderência posterior da seguinte forma

Concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizadas, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, criando posteriormente aderência com o concreto, de modo permanente, através da injeção das bainhas. (ABNT NBR 6118:2014, p.4).

Na pós-tração é feito o sentido inverso da pré-tração, primeiramente é fabricada a peça de concreto. Faz-se às formas da viga e nela é introduzida um tubo chamado de bainha, que é normalmente de metal e corrugado, e estes tubos servem de passagem para armadura ativa (cordoalhas e fios), e também é incluída a armadura passiva e então faz-se a concretagem. Após a peça de concreto adquirir a resistência necessária para suportar às forças de compressão, é inserido as cordoalhas, onde um lado da peça é fixa e chamada de lado passivo e do outro lado faz-se o tracionamento da armadura ativa com ajuda de um cilindro hidráulico, chamado de lado ativo.

Conclui-se o estiramento dos fios ou das cordoalhas onde são ancorados na peça por cunhas e porta-cunhas, ou seja, é fixada na peça. Como a tendência do fio de aço é voltar a seu estado inicial de deformação, a peça de concreto é submetida a uma tensão de compressão pelo aço.

Para aderir os cabos e cordoalhas à peça de concreto utiliza-se uma nata de cimento para fazer o preenchimento da bainha, a fim de que se possa unir ambos a peça, chamando então de pós-tensão com aderência (BASTOS, 2019).

A Figura 6 mostra um exemplo de uma viga com pós-tração com a armadura passiva e a disposição da bainha por onde passará os cabos de protensão.

Figura 6 – Viga armada e disposição da bainha dos cabos de protensão



Fonte: EVEHX (2020)¹

¹ Disponível em: <https://evehx.com/servicos/protensao-aderente/>

A Figura 7 mostra uma viga pós-tracionada, já concretada e com a protensão das cordoalhas já realizada.

Figura 7 – Viga protendida pós-tracionada



Fonte: EVEHX (2020)².

Há também outra tipologia de pós-tração, onde ao invés de utilizar a nata de cimento para consolidar às cordoalhas nas estruturas de concreto, faz-se a utilização de cordoalhas do tipo engraxada.

A NBR 6118:2014 destaca a pós-tração sem aderência da seguinte forma

Concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizadas, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, mas não sendo criada aderência com o concreto, ficando a armadura ligada ao concreto apenas em pontos localizados (ABNT NBR 6118, 2014, p.4).

A pós-tração sem aderência possui o mesmo método construtivo da protensão pós-tração com aderência, a diferença está apenas a não utilização da nata de

² Disponível em: <https://evehx.com/servicos/protensao-aderente/>

cimento, ou seja, não faz-se a aderência entre os materiais, ficando estes fixos apenas nas extremidades por cunhas e porta-cunha. Tem-se aumentado o uso desse tipo de protensão, utilizando-a em lajes e reforços estruturais. Nesse caso, emprega-se a bainha com um material de polietileno e a cordoalha é envolto por graxa para melhorar a movimentação dos fios no ato do estiramento, bem como para a proteção da armadura contra a corrosão (BASTOS, 2019).

A Figura 8 mostra um exemplo de uma laje maciça com as disposições das bainhas de polietileno e também a sua armadura passiva, pronta para a concretagem.

Figura 8 – Laje maciça protendida pós-tracionada



Fonte: EVEHX (2020)³

A Figura 9 mostra uma laje nervurada com a disposição das bainhas de polietileno entre as nervuras para a concretagem e, após receber os cabos de protensão e fazer o seu estiramento.

³ Disponível em: <https://evehx.com/servicos/protensao-nao-aderente/>

Figura 9 – Laje nervurada protendida pós-tracionada



Fonte: EVEHX (2020)⁴

Como pode-se observar, a protensão com pós-tração com aderência ou sem aderência, possuem as mesmas configurações construtivas, se diferenciando apenas em utilizar ou não da nata de cimento. O emprego de cada uma varia, por exemplo, a pós-tração com aderência é aplicada em peças pré-moldadas no canteiro de obras e que tenha uma repetitividade menor, como vigas de pontes e viadutos, passarelas e também em pisos e lajes estruturais. A pós-tração sem aderência tem sido empregada em lajes maciças, lajes nervuradas, pisos industriais, vigas e reforço estrutural.

2.4 AÇOS DE PROTENSÃO

Segundo Carvalho (2017), os aços são identificados com a sigla CP (concreto protendido) e adiciona-se às categorias RB para baixa relaxação e RN para relaxação normal e são classificados em barras, fios, cordões e cordoalhas.

A norma vigente para fios de aço de estruturas de concreto protendido é a ABNT NBR 7482:2020. Para cordoalhas de aço para concreto protendido é a NBR 7483:2020. Para as barras, cordoalhas e fios de aço destinados a armaduras de protensão é a ABNT NBR 7484:2020 e, para as barras, cordoalhas e fios de aço para armaduras de protensão é a ABNT NBR 6349:2008.

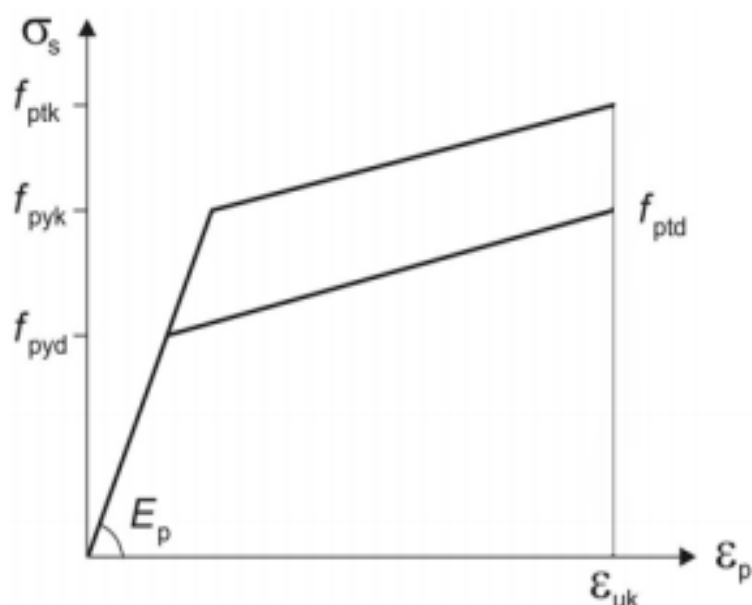
⁴ Disponível em: <https://evehx.com/servicos/protensao-nao-aderente/>

A ABNT NBR 7482:2020 define as características relacionadas ao grau de relaxação do aço e indica a utilização da categoria RB, pois essa é reduzida cerca de 25% da relaxação em relação ao aço tipo RN. Outras características importantes destacadas pela norma são as propriedades dos fios, onde estes são classificados conforme a resistência à tração em CP-145, CP-170, CP-175 e CP-190 e, também, conforme o acabamento superficial do fio, em liso ou entalhado.

As cordoalhas seguem as características e propriedades da ABNT NBR 7483:2020, onde estão classificadas conforme os números de fios em cordoalhas, de sete fios ou de três fios, bem como a resistência à tração com as categorias CP-190, CP-210, CP-220, CP-230, CP-240, além de classificar estas conforme o tipo de superfície, como cordoalhas nua lisa, nua entalhada e, quanto ao revestimento, em engraxada e plastificada ou também encerada e plastificada, além de serem sempre produzidas nas condições de baixa relaxação.

A Figura 10 representa o diagrama de tensão-deformação do aço para amadura ativa utilizado em concreto protendido.

Figura 10 – Diagrama tensão-deformação para aços de armaduras ativas



Fonte: (ABNT NBR 6118:2014).

2.5 BAINHAS E ANCORAGEM

Para introduzir a armadura ativa na viga ou laje, utiliza-se bainhas, que são tubos de passagem de metal ou plástico. Essa é utilizada tanto em protensão pós-tração com aderência ou sem aderência, tendo como objetivo a proteção das cordoalhas e também fazer o isolamento das cordoalhas ou fios. Utiliza-se na pós-tração com aderência uma calda de cimento para fazer o preenchimento da bainha com a cordoalha ou fios (BASTOS, 2018).

A Figura 11 mostra uma bainha metálica e corrugada, utilizada para a passagem de fios e cordoalhas em vigas protendidas.

Figura 11 – Bainhas metálicas



Fonte: Protenfor (2021)⁵.

Para fazer a fixação dos cabos na estrutura, é utilizado a cunha e porta-cunha com objetivo de fixar a cordoalha ou fios na estrutura de concreto, esses dispositivos fazem a ancoragem da armadura na peça após feito o estiramento dos fios de aço.

A Figura 12 mostra um modelo de cunha e porta-cunha utilizados para a ancoragem de cabos em vigas protendidas.

⁵ <https://www.protenfor.com.br/blog/Bainha-Met%C3%A1lica-Galvanizada/62>

Figura 12 – Cunha e porta-cunha para ancoragem



Fonte: Bianchim formas (2021)⁶

A Figura 13 e a Figura 14 mostram dispositivos de ancoragem para cordoalhas engraxadas, utilizadas para lajes.

Figura 13 – Dispositivos de ancoragem



Fonte: Macprotensão (2021)⁷

Figura 14 – Ancoragem passiva de cordoalhas engraxadas



Fonte: Macprotensão (2021)⁸

⁶ Disponível em: <http://www.bianchiformas.com.br/produtos/27>

⁷ Disponível em: <https://macprotensao.com.br/produtos/ancoragem-ativa-engraxada-mac-s/>

⁸ Disponível em: <https://macprotensao.com.br/produtos/ancoragem-ativa-engraxada-mac-s/>

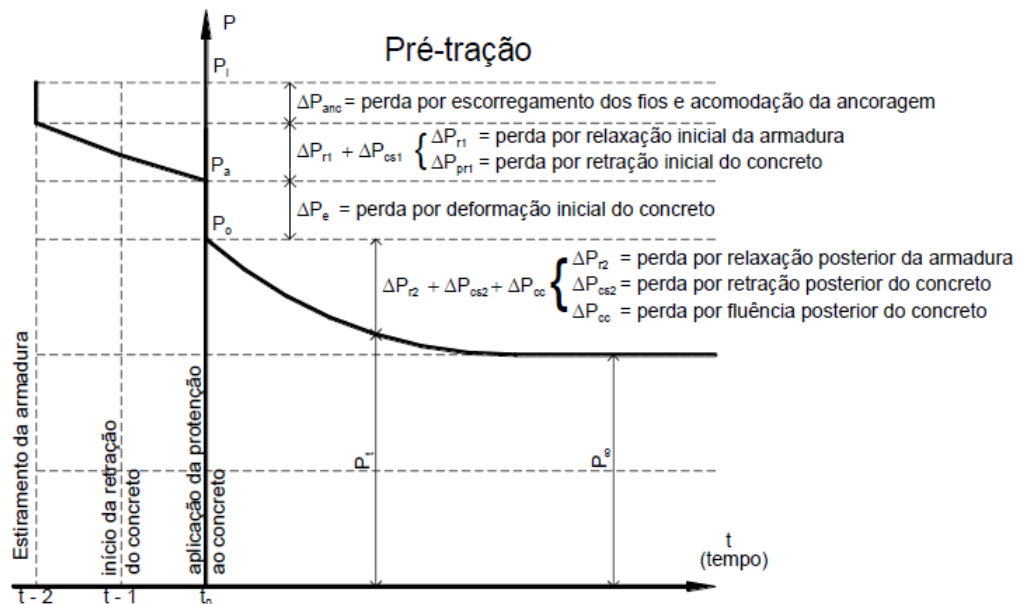
3 PERDAS DE PROTENSÃO

Ao protender uma estrutura provocamos uma tensão na armadura, onde essa tensão decresce mais rápido no início e, com o passar do tempo, torna-se mais lenta e isso está ligado as propriedades do aço e também do concreto. Esse fato é de grande importância, pois a soma total das diferentes perdas nos dá uma estimativa de força de protensão efetiva, ou seja, uma sobretensão que será necessária para minimizar as perdas totais (BASTOS, 2019).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, há três tipos de perdas de protensão: a primeira é a perda inicial e ocorre na pré-tração, a segunda é a perda imediata e a terceira é a perda do tipo progressiva, essas duas últimas ocorrem em ambos tipos de protensão.

A Figura 15 mostra as perdas sofridas em função do tempo na pré-tração com intuito representativo da força de protensão.

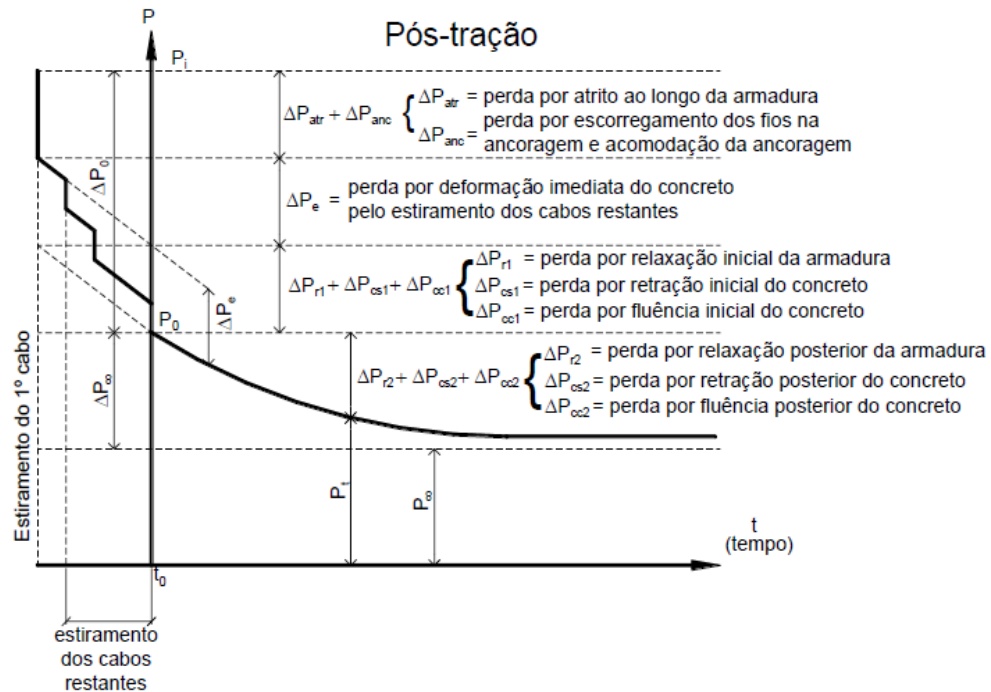
Figura 15 - Diagrama força de protensão x tempo para peça protendida pré-traçada



Fonte: (BASTOS, 2018).

A Figura 16 mostra as perdas sofridas em função do tempo na pós-tração com intuito representativo da força de protensão.

Figura 16 - Diagrama força de protensão x tempo para peça protendida pós-traçada



Fonte: (BASTOS, 2018).

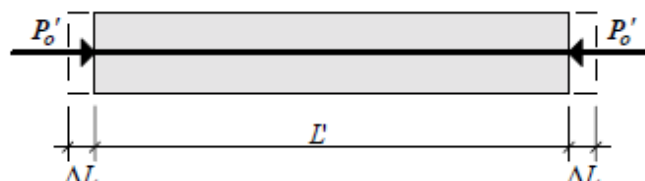
3.1 PERDAS IMEDIATAS

3.1.1 Perdas por deformação imediata do concreto

A peça de concreto após receber a força de compressão devido a protensão, sofre uma deformação elástica de forma imediata, gerando assim um encurtamento da estrutura. Além de gerar um encurtamento do cabo de protensão isso gera um alívio de tensões nos cabos e, assim, conseqüentemente, perdas de tensão (VERÍSSIMO; CÉSAR, 1998).

A Figura 17 mostra uma viga protendida após a liberação dos cabos de aço sofrendo um encurtamento devido a compressão.

Figura 17 - Peça pré-moldada de concreto protendida, após a liberação dos cabos protendidos



Fonte: (VERISSIMO; CESAR, 1998).

3.1.2 Perdas por atrito nos cabos

Nas peças pós-tracionadas com cabos curvilíneos, devido ao atrito entre a cordoalha e a bainha, assim como, em trechos retos, em que ocorre atrito com os cabos e as ondulações do duto, ocasiona-se perdas de tensão do aço. Esse fato se dá dependendo do traçado do cabo, bem como as características de rugosidade dos materiais que estarão em contato, ao se fazer o estiramento do cabo, gera-se um atrito com a bainha que acarreta, assim, em perdas de protensão do tipo imediata (BASTOS, 2019).

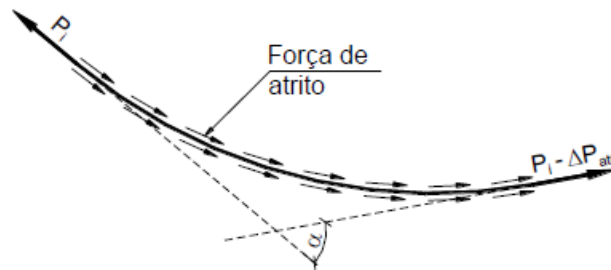
As perdas de protensão são significativas devido ao atrito, quanto maior for o comprimento da peça de concreto e, também quando o cabo for curvilíneo, pois, nessas condições, devido a trajetória do cabo, gera-se um atrito interno, surgindo assim, altas pressões de contato, que acarreta nas perdas de protensão (VERÍSSIMO; CÉSAR, 1998).

A perda, devido ao atrito dentro da bainha, de consequência à sinuosidade do duto, chama-se de ondulação parasitária e ocorre em qualquer tipo de traçado de cabo, seja retilíneo ou o curvo.

Uma forma de atenuar essas perdas é aplicando às forças de protensão nas duas extremidades da estrutura.

A Figura 18 mostra a perda protensão devido a força de atrito no ato do tensionamento da armadura.

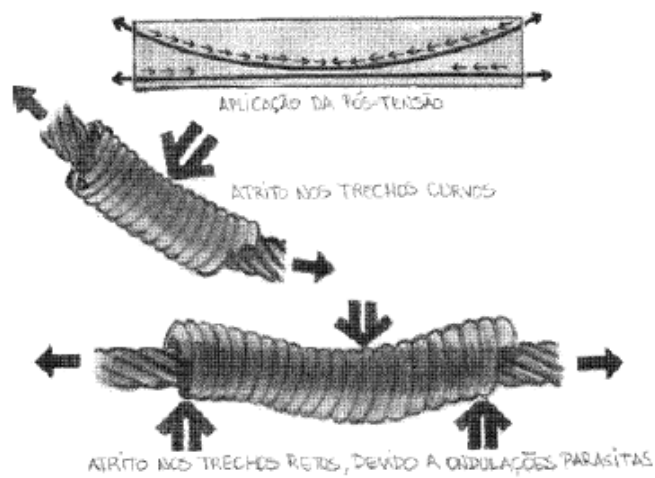
Figura 18 - Perda por atrito ao longo da bainha no estiramento da armadura



Fonte: (BASTOS, 2018, P.40).

A Figura 19 mostra um esquema da perda de protensão devido ao atrito da bainha com o cabo curvo e também devido as perdas parasitárias.

Figura 19 - Perda por atrito nos cabos



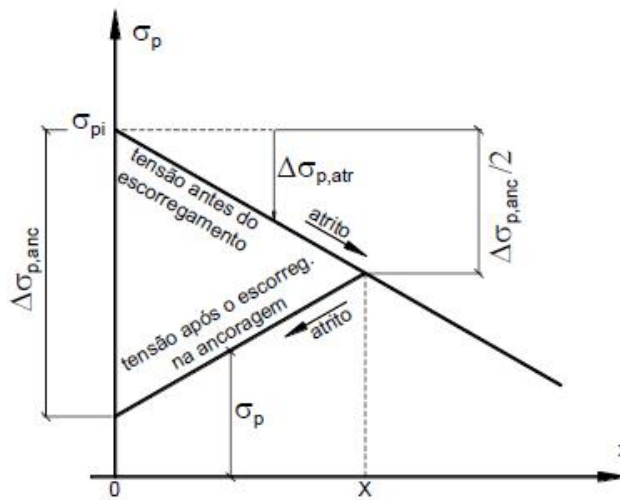
Fonte: (HANAI (2005, p. 70).

3.1.2 Perdas por acomodação da ancoragem

Existem vários tipos de dispositivos de ancoragem e isso influencia na perda por acomodação da ancoragem. Após fazer a liberação das cordoalhas ou fios do dispositivo de tração, há uma transferência de esforços para a peça de concreto, há um deslocamento do fio até sua acomodação na ancoragem, esse tipo de perda é mais significativa com a utilização de cunhas e porta-cunhas, também chamado de encunhamento. A norma destaca que deve-se determinar as perdas por acomodação da ancoragem experimentalmente ou utilizar valores indicados pelos fabricantes dos dispositivos (VERÍSSIMO; CÉSAR, 1998).

A Figura 20 ilustra a perda de tensão devido ao atrito entre a bainha e o cabo e também por escorregamento na ancoragem.

Figura 20 – Perda de tensão por atrito e por escorregamento na ancoragem



Fonte: (BASTOS, 2018, p. 44).

3.2 PERDAS PROGRESSIVAS

Segundo Schmid (1998), as perdas progressivas são decorrentes das propriedades naturais dos materiais do concreto e também do aço. A diminuição do volume do concreto é devido à retração e sua deformação lenta e, no aço, por sua vez, pela relaxação, o que resulta em perdas de tensão.

3.2.1 Retração do concreto

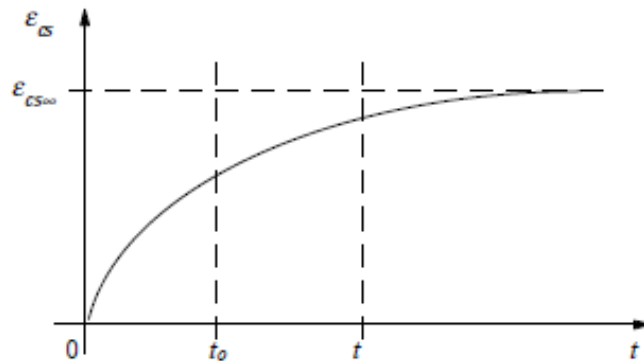
O concreto é um material formado basicamente de cimento, agregados e água e que está sujeito a deformações intrínsecas, isto é, que são decorrentes da natureza da sua estrutura interna, da sua reologia (HANAI, 2005).

Possui características importantes de resistência, que é fundamental para uma estrutura. Por dispor na sua composição água, tem-se um efeito chamado de retração por secagem, onde parte dessa água tende a ser eliminada pela porosidade do concreto em condições como temperatura, umidade relativa do ar, pressão do vento, entre outras características. Este efeito, também chamado de higrotérmico, é a tendência de haver um equilíbrio entre o ambiente e a peça. Essa perda produz uma diminuição de volume e, conseqüentemente, o encurtamento da peça de concreto com o passar do tempo.

Após o concreto adquirir resistência necessária para suportar as tensões de protensão, ao aplicar essa força, parte da retração já ocorreu, porém, essas perdas continuam acontecendo nas primeiras idades do concreto (VERISSÍMO; CÉSAR, 1998).

A Figura 21 mostra a deformação específica de retração do concreto em função do tempo, ou seja, quando é aplicada a protensão, a fluência tende a um valor constante.

Figura 21 - Comportamento da retração do concreto ao longo do tempo



Fonte: (VERISSIMO; CESAR, 1998, p.16).

3.2.2 Fluência do concreto

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, a fluência do concreto (ϵ_{cc}), por sua vez, é composta por duas formas de deformação, a deformação do tipo rápida, que acontece durante as primeiras 24 horas após o carregamento e é irreversível (ϵ_{cca}) e varia linearmente. E a lenta, que é dividida em mais duas parcelas, que com o passar do tempo e com as cargas permanentes aplicadas, surge a deformação lenta reversível (ϵ_{ccd}) e a deformação lenta irreversível (ϵ_{cct}).

A Tabela 1 fornece o valor da deformação específica de retração do concreto e o coeficiente de fluência, em função da umidade relativa do ar média, a espessura fictícia e o tempo de início de protensão em que t_0 é em dias.

Tabela 1 – Valores característicos superiores da deformação específica de retração $\epsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0)$ e do coeficiente de fluência $\varphi(t_{\infty}, t_0)$.

Umidade média ambiente %		40		55		75		90		
Espessura fictícia $2A_c/u$ cm		20	60	20	60	20	60	20	60	
$\varphi(t_{\infty}, t_0)$ Concreto das classes C20 a C45	t_0 dias	5	4,6	3,8	3,9	3,3	2,8	2,4	2,0	1,9
		30	3,4	3,0	2,9	2,6	2,2	2,0	1,6	1,5
		60	2,9	2,7	2,5	2,3	1,9	1,8	1,4	1,4
$\varphi(t_{\infty}, t_0)$ Concreto das classes C50 a C90	t_0 dias	5	2,7	2,4	2,4	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5
		30	2,0	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1
		60	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0
$\epsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0)$ ‰	t_0 dias	5	-0,53	-0,47	-0,48	-0,43	-0,36	-0,32	-0,18	-0,15
		30	-0,44	-0,45	-0,41	-0,41	-0,33	-0,31	-0,17	-0,15
		60	-0,39	-0,43	-0,36	-0,40	-0,30	-0,31	-0,17	-0,15

Fonte: (ABNT NBR 6118:2014, p.28).

A Equação (1) é indicada para o cálculo da espessura fictícia utilizada na interpolação linear na Tabela 1, sendo:

$$h_{fic} = \frac{2A_c}{u} \quad (1)$$

3.2.3 Relaxação do aço

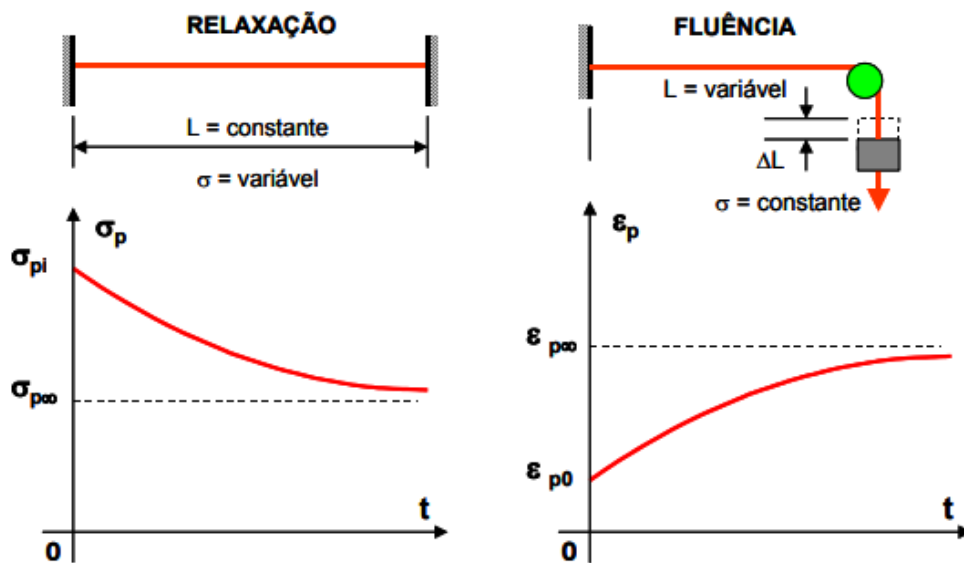
O aço ao ser submetido a uma tensão de compressão por longos períodos de tempo, sofre uma perda de deformação elástica o que ocasiona perda de tensão, denominada relaxação e com o aumento da temperatura há também um aumento de tensão no aço e aumentando assim a relaxação. Em projetos, a fim de minimizar ao máximo a relaxação, tem-se utilizado em substituição dos aços de relaxação normal, o aço de relaxação baixa (RB), esta possui cerca de apenas 25% da relaxação do aço de relaxação normal (RN) (BASTOS, 2019).

Segundo Hanai (2005), a fluência e relaxação do aço de protensão são fenômenos diferentes e que causam perdas do tipo progressivas, ou seja, a relaxação do aço representa a diminuição da tensão no aço, quando essa se mantém longos períodos de tempo tracionados, ocorrendo um alívio de tensões devido ao seu

comprimento ou também deformação constantes. A fluência acontece quando há um aumento da deformação do aço enquanto a tensão é mantida constante.

A Figura 22 mostra uma ilustração da fluência e a relaxação do aço em função do tempo.

Figura 22 – Ilustração da relaxação do aço e da fluência do aço



Fonte: (HANAI, 2005, p. 39).

O cálculo da intensidade da relaxação do aço poderá ser obtido de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 pelo coeficiente

$$\psi(t, t_0) = \frac{\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)}{\Delta p_i} \quad (2)$$

Onde:

$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)$ = é a perda de tensão por relaxação pura do instante t_0 da armadura até o instante t .

σ_{pi} = é a tensão imposta na armadura no ato de protensão após as perdas.

Para efeito de cálculos, a ABNT NBR 6118:2014 considera uma temperatura constante de 20°C e a tensão inicial variando de 50% a 80% da resistência característica do f_{ptk} , após 1000 horas, pode-se obter o valor do coeficiente de relaxação (ψ_{1000}) a partir da Tabela 2 .

Tabela 2 – Valores de Ψ_{1000} , em porcentagem

σ_{po}	Cordoalhas		Fios		Barras
	RN	RB	RN	RB	
0,5 f_{ptk}	0	0	0	0	0
0,6 f_{ptk}	3,5	1,3	2,5	1,0	1,5
0,7 f_{ptk}	7,0	2,5	5,0	2,0	4,0
0,8 f_{ptk}	12,0	3,5	8,5	3,0	7,0

Onde
 RN é a relaxação normal;
 RB é a relaxação baixa.

Fonte: (ABNT NBR 6118:2014).

A equação (3) considera o tempo em dias, se torna a seguinte:

$$\psi(t, t_0) = \psi_{1000} \left(\frac{t-t_0}{41,67} \right)^{0,15} \quad (\text{t em dias}) \quad (3)$$

E para tempo em horas,

$$\psi(t, t_0) = \psi_{1000} \left(\frac{t-t_0}{1000} \right)^{0,15} \quad (\text{t em horas}) \quad (4)$$

Para valores menores que 0,5 f_{ptk} , considera-se que não há perdas devido à relaxação do aço e, para valores intermediários da tabela 2, far-se-á a interpolação linear.

Considera-se a fórmula $\Psi(t_{\infty}, t_0) \approx 2,5 \Psi_{1000}$, para valores de tempo infinitos de $\Psi(t, t_0)$.

Segundo Bastos (2019), o Eurocode 2 especifica equações para a perda devido à relaxação do aço, tanto para cordoalhas e também para fios. Para a classe 2 com baixa relaxação, é dado pela equação (5):

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 0,66 \psi_{1000} e^{9,1\mu} \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5} \quad (5)$$

Onde,

$\Delta\sigma_{pr}$ = valor absoluto das perdas de protensão devidas à relaxação;

σ_{pi} = para a pós-tensão, é o valor absoluto da tensão inicial de protensão $\sigma_{pi} = \sigma_{po}$; e, para pré-tensão, é a tensão de tração máxima aplicada nos cabos deduzidas as perdas instantâneas que ocorrem durante as operações de protensão, portanto, $\sigma_{pi} = \sigma_{pa}$;

t = tempo depois da aplicação da protensão (em horas);

$\mu = \sigma_{pi}/f_{ptk}$, em que f_{ptk} é o valor característico da resistência à tração do aço de protensão;

Ψ_{1000} = valor da perda devida à relaxação (%), às 1.000 horas depois da aplicação da protensão e a uma temperatura média de 20 °C.

3.3 PROCESSO SIMPLIFICADO DA NBR 6118:2014

Para esse processo, a norma ABNT NBR 6118:2014 considera as perdas progressivas devido à fluência do concreto, retração do concreto e a relaxação do aço e, para utilizar esse processo, devem-se ser satisfeitas a seguintes condições:

- a) a concretagem do elemento estrutural, bem como a protensão, são executadas, cada uma delas, em fases suficientemente próximas para que se desprezem os efeitos recíprocos de uma fase sobre a outra; b) os cabos possuem entre si afastamentos suficientemente pequenos em relação à altura da seção do elemento estrutural, de modo que seus efeitos possam ser supostos equivalentes ao de um único cabo, com seção transversal de área igual à soma das áreas das seções dos cabos componentes, situado na posição da resultante dos esforços neles atuantes (cabo resultante) (ABNT NBR 6118, 2014, p.51).

O cálculo das perdas progressiva se dá pela Equação (6):

$$\Delta\sigma_p(t, t_0) = \frac{\varepsilon_{cs}(t, t_0) E_p - \alpha_p \sigma_{c, p0g} \varphi(t, t_0) - \sigma_{p0} \chi(t, t_0)}{\chi_p + \chi_c \alpha_p \eta \rho_p} \quad (6)$$

Para o cálculo da perda de deformação no cabo resultante, utiliza-se a Equação (7)

$$\Delta\varepsilon_{pt} = \frac{\sigma_{p0}}{E_p} \chi(t, t_0) + \frac{\Delta\sigma_p(t, t_0)}{E_p} \chi_p \quad (7)$$

A perda de deformação do concreto ao nível do cabo resultante é dado pela Equação (8)

$$\Delta\varepsilon_{ct} = \frac{\sigma_{c, p0g}}{E_{ci28}} \varphi(t, t_0) + \chi_c \frac{\Delta\sigma_c(t, t_0)}{E_{ci28}} + \varepsilon_{cs}(t, t_0) \quad (8)$$

Sendo,

$\sigma_{c, p0g}$ = tensão no concreto adjacente ao cabo resultante, provocada pela protensão e pela carga permanente mobilizada no instante t_0 , sendo positiva se for de compressão;
 $\varepsilon_{cs}(t, t_0)$ = retração no instante t , descontada a retração ocorrida até o instante t_0 ;
 $\Delta\sigma_c(t, t_0)$ = variação da tensão do concreto adjacente ao cabo resultante entre t_0 e t ;
 $\Delta\sigma_p(t, t_0)$ = variação da tensão no aço de protensão entre t_0 e t ;
 $\varphi(t, t_0)$ = coeficiente de fluência do concreto no instante t para protensão e carga permanente, aplicadas no instante t_0 ;

$$\chi_c = 1 + 0,5\varphi(t, t_0) \quad (9)$$

α_p = razão modular relativo à armadura ativa, com o módulo de elasticidade inicial do concreto tomado aos 28 dias:

$$\alpha_p = \frac{E_p}{E_{ci28}} \quad (10)$$

ρ_p = taxa geométrica da armadura de protensão;

$$\rho_p = \frac{A_p}{A_c} \quad (11)$$

$\chi(t, t_0)$ = coeficiente de fluência do aço;

$\psi(t, t_0)$ = coeficiente de relaxação do aço no instante t para protensão e carga permanente mobilizada no instante t_0 ;

$$\chi(t, t_0) = -\ln[1 - \psi(t, t_0)] \quad (12)$$

$$\chi_p = 1 + \chi(t, t_0) \quad (13)$$

e_p = excentricidade do cabo resultante em relação ao baricentro da seção do concreto;

A_p = área da seção transversal do cabo resultante;

A_c = área da seção transversal do concreto;

I_c = momento central de inércia na seção do concreto.

$$\eta = 1 + e_p^2 \frac{A_c}{I_c} \quad (14)$$

3.4 PROCESSO APROXIMADO DA NBR 6118:2014

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, “esse processo pode substituir o estabelecido em 9.6.3.4.2, desde que satisfeitas as mesmas condições de aplicação e que a retração não difira em mais de 25 % do valor $[-8 \cdot 10^{-5} \varphi(\infty, t_0)]$ ”

a) Para aços de relaxação Normal (RN) (valor em porcentagem)

$$\frac{\Delta\sigma_p(t_\infty, t_0)}{\sigma_{p0}} = 18,1 + \frac{\alpha_p}{47} [\varphi(t_\infty, t_0)]^{1,57} (3 + \sigma_{c,p0g}) \quad (15)$$

b) Para aços de relaxação Baixa (RB) (valor em porcentagem)

$$\frac{\Delta\sigma_p(t_\infty, t_0)}{\sigma_{p0}} = 7,4 + \frac{\alpha_p}{18,7} [\varphi(t_\infty, t_0)]^{1,57} (3 + \sigma_{c,p0g}) \quad (16)$$

Onde:

σ_{po} é a tensão na armadura em MPa de protensão devida, exclusivamente, a força de protensão, no instante t_0 .

t^∞ = tempo da vida útil da peça.

3.5 MÉTODO SIMPLIFICADO DO EUROCODE 2⁹

Esse método foi adaptado por Bastos (2019) do Eurocode 2 e apresenta um processo muito semelhante ao Método simplificado da NBR 6118:2014 para calcular as perdas progressivas, onde as variáveis são a retração, fluência e relaxação do aço em qualquer posição da peça, utiliza-se a equação (17).

$$\Delta\sigma_{p,cc+cs+r} = \frac{\varepsilon_{cs} E_p + \alpha_p \sigma_{c,QP} \varphi(t,t_0) + 0,8 \Delta\sigma_{pr}}{1 + \alpha_p \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{A_c}{I_c} e_p^2\right) [1 + 0,8 \varphi(t,t_0)]} \quad (17)$$

$$\Delta P_{p,cc+cs+r} = A_p \Delta\sigma_{p,cc+cs+r} \quad (18)$$

Onde:

$\Delta\sigma_{p,cc+cs+r}$ = valor absoluto da variação de tensão na armadura devido à fluência, retração e relaxação, na posição x no tempo t ;

$\varepsilon_{cs}(t;t_0)$ = deformação por retração estimada, no tempo sob consideração;

α_p = razão modular;

$\Delta\sigma_{pr}$ = valor absoluto da variação de tensão na armadura de protensão na seção x , no instante t , devida à relaxação, determinada para uma tensão $\sigma_p = \sigma_p (P_o + G + \Psi_2 Q)$, isto é, devida à ação conjunta da força de protensão P_o e da combinação quase permanente;

$\varphi(t;t_0)$ = coeficiente de fluência do concreto no tempo t para cargas aplicadas em t_0 ;

⁹ Adaptação feita por Bastos (2019) para a notação conforme NBR 6118:2014.

$\sigma_{c,QP}$ = tensão no concreto ao nível do CG da armadura de protensão, devida ao peso próprio e a força de protensão inicial (P_o) e, sempre que for relevante, a outras ações quase permanentes. O valor de $\sigma_{c,QP}$ pode resultar de parte do peso próprio e da força de protensão inicial ou da combinação de ações quase permanente considerada na sua totalidade ($\sigma_c (P_o + G + \psi_2 Q)$), consoante a fase de construção considerada, sendo positiva se de compressão;

e_p = excentricidade do cabo resultante em relação ao baricentro da seção do concreto.

3.6 MÉTODO SIMPLIFICADO ALTERNATIVO¹⁰

Este método simplificado alternativo é apresentado por Gilbert et al. e adaptado por Bastos (2019) conforme a NBR 6118:2014, considera que, uma seção de concreto, contendo armaduras passivas e ativas aderentes, a retração no concreto, que causa deformação na posição do centro de gravidade da armadura ativa, é determinada pela seguinte equação (19):

$$\Delta \varepsilon_{p,cs} = \frac{\varepsilon_{cs}}{1 + \bar{\alpha}_{ep,k} \rho_{ps} \left[1 + \frac{A_c e_p e_s}{I_c} \right]} \quad (19)$$

ε_{cs} = deformação por retração do concreto;

e_s = excentricidade das armaduras aderentes (passivas e ativas) relativamente ao CG da seção transversal;

$\rho_{ps} = \frac{A_s + A_p}{A_c}$ = taxa relativa às armaduras aderentes ($A_s + A_p$);

$\bar{\alpha}_{ep,k} = \frac{E_p}{\bar{E}_{c,ef}}$ razão modular ajustada com a idade do concreto, sendo $\bar{E}_{c,ef}(t;t_0)$ o

módulo de elasticidade efetivo do concreto ajustado com a idade.

¹⁰ Adaptação feita por Bastos (2019) para a notação conforme NBR 6118:2014.

A perda de tensão na armadura ativa devido à retração do concreto é dada pela Equação (20):

$$\Delta\sigma_{p,cs} = \frac{\varepsilon_{cs} + E_p}{1 + \bar{\alpha}_{ep,k} \rho_{ps} \left[1 + \frac{A_c e_p e_s}{I_c} \right]} \quad (20)$$

A deformação do concreto, devido a fluência do concreto, depende da tensão aplicada ao nível do centro de gravidade da armadura de protensão e deve ser feito experimentalmente, porém, é um método conservador e aproximado para a estimativa das perdas por fluência onde a tensão do concreto ao nível do CG da armadura ativa permanece constante e igual a $\sigma_{c,p0g}$, então considera-se que, a deformação por fluência é dada por $\left[\frac{\sigma_{c,p0g}}{E_c} \varphi(t, t_0) \right]$, logo, a equação aproximada para a fluência do concreto se dá pela Equação (21):

$$\Delta\sigma_{p,cc} = \frac{E_p + \varphi(t, t_0) \frac{\sigma_{c,p0g}}{E_c}}{1 + \bar{\alpha}_{ep,k} \rho_{ps} \left[1 + \frac{A_c e_p e_s}{I_c} \right]} \quad (21)$$

A relaxação do aço depende da tensão que atua na armadura no tempo útil da estrutura, contudo, a retração e a fluência do concreto diminuem a tensão de protensão, devido à perda de volume da peça e a diminuição com o tempo da tensão, isto é, de maneira mais rápida ao ser comparado com a relaxação do aço, logo a relaxação do aço se dá pela equação (22):

$$\Delta\sigma_{p,r} = - \left(1 - \frac{|\Delta\sigma_{p,cs} + \Delta\sigma_{p,cc}|}{\sigma_{po}} \right) \varphi_p(t, t_0) \sigma_{po} \quad (22)$$

Sendo:

$$\sigma_{po} = \frac{P_0}{A_p} \quad (23)$$

$$\varphi_p(t, \sigma_{pi}) = \frac{-\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} \quad (24)$$

$\varphi_p(t; \sigma_{pi})$ é o coeficiente de fluência do aço de protensão.

3.7 MÉTODO DE VASCONCELOS (1980)

O método Vasconcelos (1980) considera as perdas devido a retração e fluência do concreto e a relaxação do aço de modo iterativo. As variáveis que influem no cálculo são a umidade do ambiente, consistência do concreto, maturidade do concreto, considerando o dia de protensão, espessura fictícia da peça, tipo de cimento e o tempo. A perda por retração e fluência do concreto se dá pela Equação (25):

$$\Delta\sigma_{p,c,s,r} \cong \Delta\sigma_{p,c+s} = \frac{\varepsilon_{cs,\infty} E_p + n \varphi_{\infty} \sigma_{c,p0} g}{1 - n \frac{\sigma_{c,p0}}{\sigma_{p0}} \left(1 + \frac{\varphi_{\infty}}{2}\right)} \quad (25)$$

Onde:

$\Delta\sigma_{p,c+s}$ são as perdas progressivas causadas pela retração e fluência do concreto.

Sendo:

$$n = \frac{E_p}{E_c} \quad (26)$$

As perdas progressivas, considerando a relaxação do aço, fluência e retração é dada pela Equação (27):

$$\Delta\sigma_{p,c,s,r} \cong \Delta\sigma_{p,c+s} = \frac{\varepsilon_{cs,\infty} E_p + n \varphi_{\infty} \sigma_{c,p0} g + \Delta\sigma_{pr}}{1 - n \frac{\sigma_{c,p0}}{\sigma_{p0}} \left(1 + \frac{\varphi_{\infty}}{2}\right)} \quad (27)$$

Onde,

$$\Delta\sigma_{pr} = \psi_{\infty} \sigma_{pi} \quad (28)$$

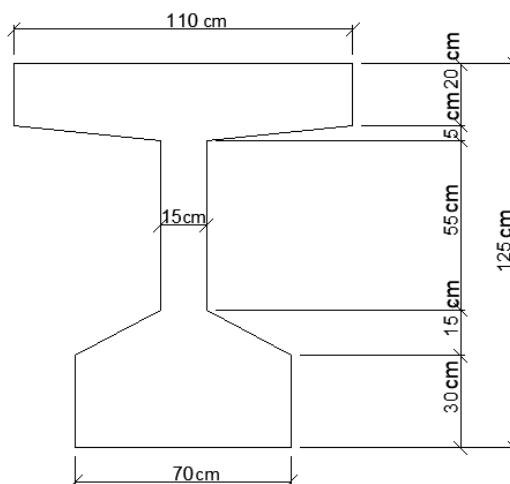
4 METODOLOGIA

Foi utilizada a viga isostática de Duarte et al. (2015) para obtenção dos resultados como condição inicial, com o intuito de se obter dados necessários para fazer o estudo das perdas progressivas conforme os métodos:

- Método do processo simplificado da NBR 6118:2014;
- Método do processo aproximado da NBR 6118:2014;
- Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019);
- Método simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019);
- Método de Vasconcelos (1980).

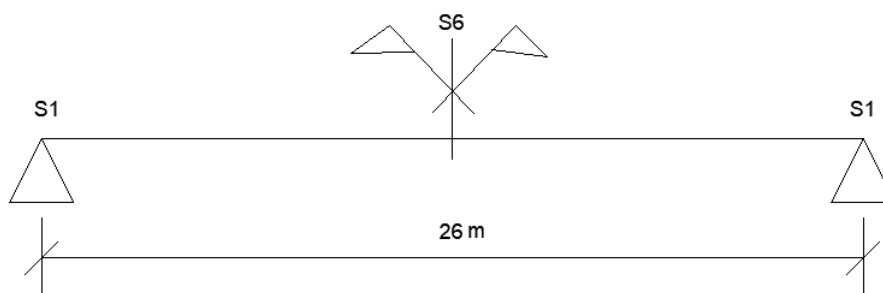
Duarte et al. (2015) calcularam uma viga de seção I com as dimensões conforme a Figura 23 e de vão conforme a Figura 24. A viga está submetida a um carregamento permanente de 8 kN/m e uma sobrecarga acidental de 20 kN/m. O concreto utilizado é de f_{ck} de 30 MPa, $E_{ci}=27775$ MPa e foi adotada uma classe de agressividade ambiental II.

Figura 23 – Seção da viga e suas dimensões



Fonte: Elaborada pelo autor (2021)

Figura 24 – Sistema estático da viga e seu comprimento



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Na Tabela 3 apresentam-se as propriedades geométricas da seção da viga:

Tabela 3 – Propriedades geométricas

A_c	0,61	m^2
Y_i	0,66	m
Y_s	0,59	m
I_c	0,12	m^4
W_i	0,18	m^3
W_s	0,21	m^3

Fonte: Elaborada pelo autor adaptado de Duarte et al. (2015)

Sendo:

A_c = Área da seção

I_c = Momento de inércia da seção transversal

Y_s = Distância linha neutra até o bordo superior

Y_i = Distância linha neutra até o bordo inferior

W_i = Módulo resistente até o bordo inferior

W_s = Módulo resistente até o bordo Superior

Como base nos carregamentos informados, calcularam-se os momentos fletores máximos no meio do vão, obtendo os valores da Tabela 4.

Tabela 4 – Momento fletor máximo (meio do vão)

pp	1293 kN.m
sp	676 kN.m
sa	1690 kN.m

Fonte: Elaborada pelo autor adaptado de Duarte et al. (2015)

Sendo:

pp= Momento fletor devido ao peso próprio

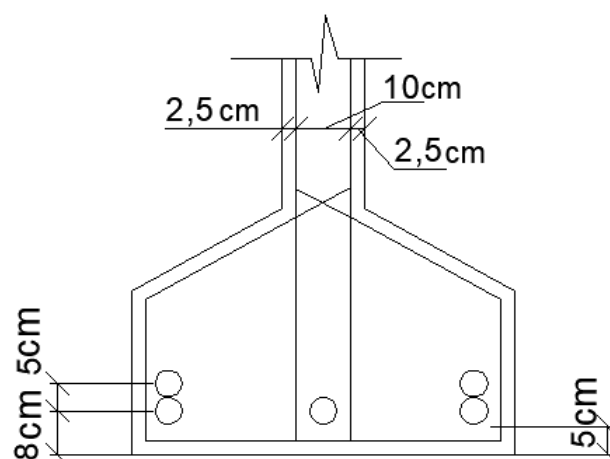
sp= Momento fletor devido a carga permanente

sa= Momento fletor devido a carga acidental

Segundo Duarte et al. (2005), após obter os valores da Tabela 4, chegou-se que o número de cordoalhas foi de 35, então adotou-se 5 cabos $7\text{Ø } 12,5\text{ mm}$, totalizando uma área de aço de protensão de 35 cm^2 . Foi utilizado um aço CP 190 RB, com módulo de elasticidade do aço de $E_a = 200\text{ GPa}$ e $f_{ptk} = 1900\text{ MPa}$.

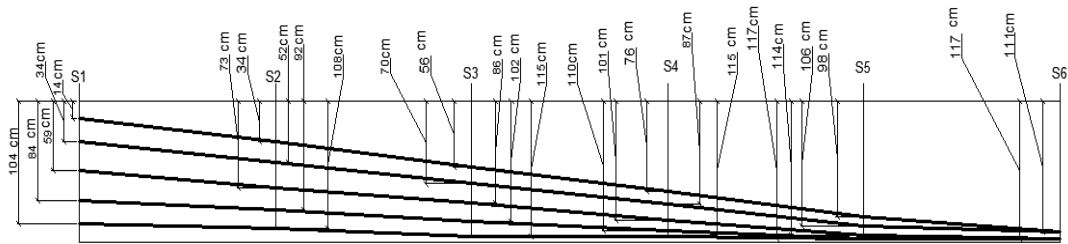
A Figura 25 é apresentada a posição dos cabos de protensão no meio vão, bem como na Figura 26, mostra as excentricidades dos cabos de protensão ao longo do viga.

Figura 25 - Posição dos cabos de protensão no meio da viga



Fonte: Elaborada pelo autor (2021)

Figura 26 - Excentricidade dos cabos de protensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2021)

A Tabela 5 contém os valores das excentricidades dos 5 cabos de protensão separados por seção.

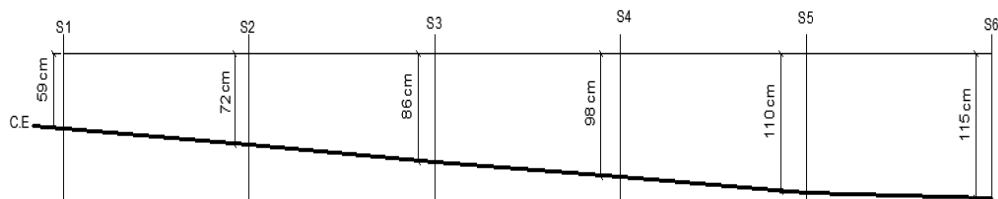
Tabela 5 – Excentricidade dos cabos em relação ao topo da viga

	S1(m)	S2(m)	S3(m)	S4(m)	S5(m)	S6(m)
C1	0,14	0,34	0,56	0,76	0,98	1,11
C2	0,34	0,52	0,70	0,87	1,06	1,11
C3	0,59	0,73	0,86	1,01	1,14	1,17
C4	0,84	0,92	1,02	1,10	1,17	1,17
C5	1,04	1,08	1,15	1,15	1,17	1,17

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o cálculo admitiu-se que os 5 cabos tornam-se um único cabo equivalente, a Figura 27 mostra a configuração da excentricidade do cabo equivalente ao longo da viga, bem como, a Tabela 6 está descrito o valor da excentricidade do cabo equivalente em relação ao cabo médio.

Figura 27 - Excentricidade do cabo equivalente



Fonte: Elaborada pelo autor (2021)

Tabela 6 - Excentricidade do cabo equivalente em relação ao cabo médio

	S1(m)	S2(m)	S3(m)	S4(m)	S5(m)	S6(m)
C.E	0,59	0,72	0,86	0,98	1,10	1,15

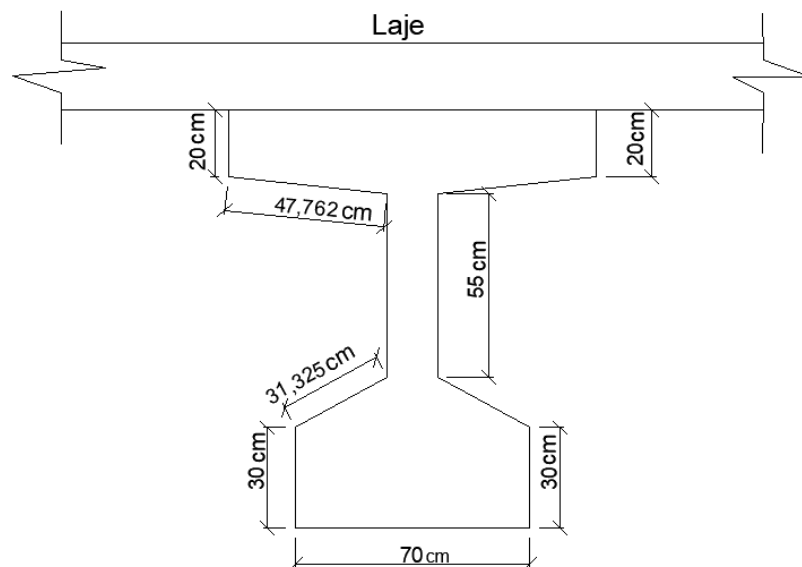
Fonte: Elaborada pelo autor

Sendo:

C.E = Cabo equivalente

Duarte et al. (2015) consideraram para o cálculo das perdas progressivas o Método simplificado da NBR 6118:2014, uma umidade relativa do ar de 70, um abatimento do concreto de 10-15 cm e utilizando a tabela indicada pela ABNT NBR 6118:2014 para resultados com maior precisão do coeficiente de fluência do concreto e deformação específica de retração do concreto (Tabela A.1, ABNT NBR 6118: 2014), chegou-se a uma espessura fictícia de 40 cm. A Figura 28 mostra o perímetro da peça em contato com o ar utilizado para o cálculo da espessura fictícia.

Figura 28 - Perímetro da peça em contato com o ar



Fonte: Elaborada pelo autor (2021)

A Tabela 7 mostra os valores obtidos por Duarte et al. (2015) e utilizados para o cálculo das perdas progressivas.

Tabela 7 – Valores calculados por Duarte et al. (2005)

$\epsilon_{cs}(t,t_0)$	-0,0481%
E_p	2000000 MPa
α_p	6,52
$\phi(t,t_0)$	3,21
ρ_p	0,574%
$X(t,t_0)$	0,065
X_p	1,065
X_c	2,605

Fonte: Elaborada pelo autor

Logo, os valores obtidos das tensões após as perdas imediatas e a perdas progressivas bem como, a perda total, estão na Tabela 8, separados por seção.

Tabela 8 – Resumos de tensão devido as perdas imediatas e progressivas e totais

	Seção 1 (MPa)	Seção 2 (MPa)	Seção 3 (MPa)	Seção 4 (MPa)	Seção 5 (MPa)	Seção 6 (MPa)
Após perdas imediatas	1265	1272	1278	1282	1285	1297
Perda por fluência	152	150	151	161	190	212
Perda por retração	-96	-96	-96	-96	-96	-96
Perda por Relaxação	88	88	88	88	88	88
Fluên. +retr. +Relax.	-336	-334	-335	-335	-374	-396
Total perda progressiva	-291	-288	-282	-281	-292	-303
Perda imediata + Perda progressiva	974	984	996	1001	993	994

Fonte: Elaborada pelo autor

Este trabalho foi separado em duas vertentes de cálculos, a primeira considerando diferentes valores de coeficiente de fluência e deformação específica de retração, fazendo-se a interpolação linear da Tabela 1, fixando o valor de tensão no aço de 1394 MPa e um $\Psi_{1000} = 6,5\%$ e a segunda vertente considerando apenas variações de tensões no aço e coeficiente de relaxação do aço (Ψ_{1000}) contido na Tabela 2 e fixando um coeficiente de fluência do concreto [$\varphi(t,t_0)$] de 3,21 e uma deformação específica de retração (ϵ_{cs}) de 0,48.

Considerando alguns valores obtidos por Duarte et al. (2015), recalculou-se novos valores de perdas progressivas a partir de outras variáveis, como a umidade relativa do ar média de 40, 55, 70, 75 e 90 e tempo de início de protensão para 5, 7, 30 e 60 dias. Foi utilizada a Equação (1) para obter a espessura fictícia de 27,85 cm, esta fixada para obter os novos coeficiente de fluência do concreto e deformação específica do concreto.

Obtidos novos valores de coeficientes de fluência do concreto e deformação específica de retração do concreto e com dados de Duarte et al. (2015), utilizaram-se as metodologias de cálculos de perdas progressivas, assim novos valores de perdas progressivas foram encontradas para cada uma dessas variáveis.

Para a segunda vertente de cálculo foram consideradas novas tensões de protensão pós-perdas iniciais e novos coeficientes de relaxação do aço descritos na Tabela 2. A partir desses novos coeficientes de relaxação recalculou-se as perdas progressivas considerando os dados já existentes de Duarte et al. (2015), a fim de se obter novas valores de perdas progressivas.

As equações utilizadas para os diferentes métodos de cálculo foram apresentados nos itens 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7.

Os cálculos foram feitos em tabelas de Excel®, pelo autor, com o propósito de calcular as perdas progressivas para as diferentes metodologias.

Devido ao grande volume de tabelas obtidas, essas planilhas foram colocadas no Anexo A, Anexo B e Anexo C deste trabalho, sendo apresentado no Capítulo 5 apenas os resultados dessas planilhas.

5 RESULTADOS

Este capítulo está dividido em dois itens, o primeiro de acordo com as variações do coeficiente de fluência e deformação específica do concreto, fixando o valor de coeficiente de relaxação do aço e também a tensão no aço de protensão. O segundo item, faz-se variações para o coeficiente de relaxação do aço e novas tensões no aço de protensão, fixando os valores de coeficientes de fluência e deformação específica do concreto para obter novos resultados das perdas progressivas.

5.1 PERDAS PROGRESSIVAS DEVIDO A RETRAÇÃO E FLUÊNCIA DO CONCRETO

Como explicado anteriormente, foram consideradas variações de umidade média relativa do ar, tempo de início de protensão para uma espessura fictícia de 27,85 cm e utilizando a Tabela 1 obteve-se novos valores de coeficiente de fluência e deformação específica de retração, os novos valores encontra-se todos no Anexo A deste trabalho. Assim, calculou-se novos resultados de perdas progressivas de protensão considerando as diferentes metodologias.

Os valores obtidos das perdas progressivas, bem como todas as tabelas podem ser encontrados, de forma mais detalhado, no Anexo B deste trabalho.

A Figura 29 e a Tabela 9 representam os valores das perdas progressivas, considerando uma umidade relativa do ar de 40.

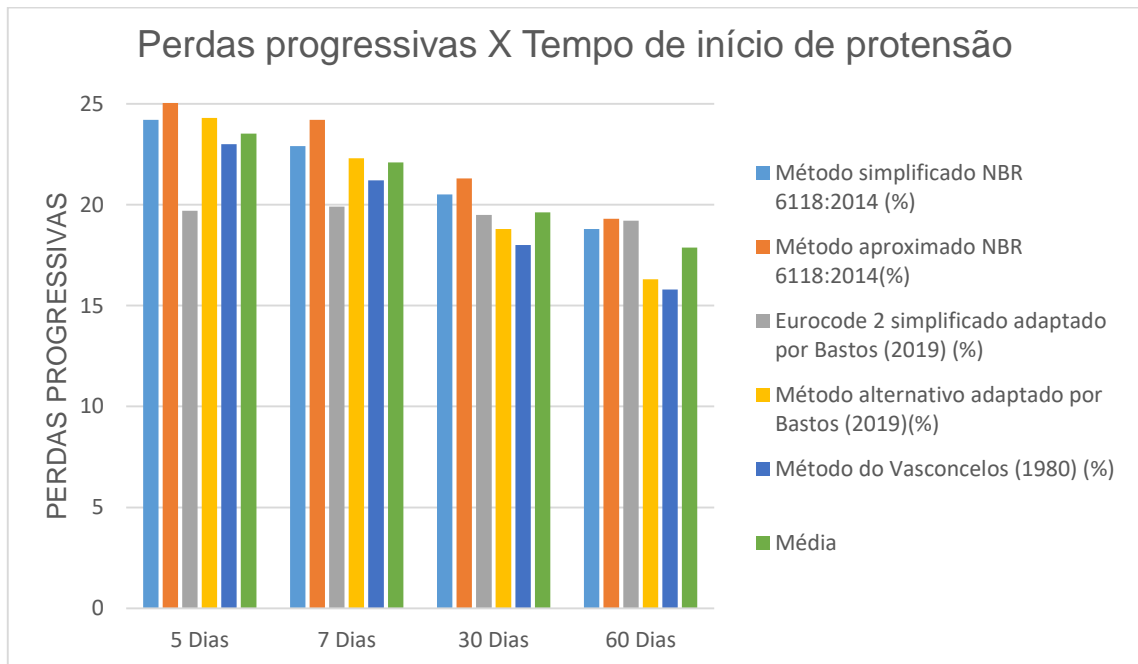
Aplicando esses novos valores para cada metodologia, encontrou-se os resultados das perdas progressivas que está descrita na Tabela 10 e os cálculos, encontra-se no anexo B, nas Tabelas B1, B2, B3 e B4. Para o tempo de início de protensão ao 5º dia, a média das perdas progressivas ficam em 23,5% e um desvio padrão de 2,5%, bem como, para o início de protensão aos 60 dias em que a média das perdas progressivas para todas as metodologias foi de 17,9% e um desvio padrão de 1,7.

Tabela 9 – Resultados das perdas progressivas para uma unidade de 40.

Dias	5 Dias	7 Dias	30 Dias	60 Dias
Método simplificado NBR 6118:2014 (%)	24,2	22,9	20,5	18,8
Método aproximado NBR 6118:2014(%)	26,4	24,2	21,3	19,3
Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019) (%)	19,7	19,9	19,5	19,2
Método alternativo adaptado por Bastos (2019)(%)	24,3	22,3	18,8	16,3
Método do Vasconcelos (1980) (%)	23	21,2	18	15,8
Média (%)	23,5	22,1	19,6	17,9
Desvio padrão(%)	2,5	1,6	1,3	1,7

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 29 – Perdas progressivas de protensão para unidade de 40.



Fonte: elaborado pelo autor

Observa-se na Figura 29 que há uma redução nos resultados das perdas progressivas ao se fazer a protensão no 5º dia comparado aos 60 dias, esse fato está relacionado a retração e fluência do concreto em que nas idades iniciais esses valores são mais expressivos. Em todos os métodos houve uma redução das perdas progressivas em função dos dias de início de protensão, com excessão do método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019), em que as perdas progressivas se mantiveram constantes para todos os tempos de início de protensão,

esse fato está relacionado a metodologia de cálculo, que considera o valor da relaxação pura do aço, ou seja, sob comprimento constante.

A Tabela 10 apresenta os valores das perdas progressivas, considerando uma umidade relativa do ar de 55. Os cálculos encontram-se no Anexo B, nas Tabelas B5, B6, B7 e B8. Ao aumentar a umidade relativa do ar de 40 para 55, os valores das perdas progressivas, reduziram para a média de 21,2% no 5º dia e um desvio padrão de 1,6, reduzindo consideravelmente em compados aos valores da Tabela 9.

Tabela 10 – Resultados das perdas progressivas para uma umidade de 55.

Dias	5 Dias	7 Dias	30 Dias	60 Dias
Método simplificado NBR 6118:2014 (%)	22,0	21,8	18,9	17,5
Método aproximado NBR 6118:2014(%)	23,4	23,1	19,2	17,5
Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019) (%)	19,5	19,5	19,3	19,1
Método alternativo adaptado por Bastos (2019)(%)	21,1	20,8	16,5	14,3
Método do Vasconcelos (1980) (%)	20	19,7	15,9	13,9
Média (%)	21,2	21,0	18,0	16,5
Desvio padrão(%)	1,6	1,5	1,6	2,3

Fonte: elaborada pelo autor

A Figura 30 mostra esses valores das perdas progressivas, observa-se novamente que, o método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Basto (2019), manteve-se constante para os valores das perdas progressiva, compada as outras metodologias. Esse método considera apenas uma única etapa de cálculo assim como, o método simplificado da NBR 6118:2014, porém a diferença está que no método simplificado da NBR 6118: 2014, considera-se o produto da tensão do aço pelo coeficiente de fluência do aço, já no método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019), considera a relaxação pura do aço, além de que fixa um coeficiente de redução de 0,8. O método simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019), assim como o método de Vasconcelos (1980) tem uma convergência para menores valores de perdas progressivas em comparada aos outros métodos de 5 aos 60 dias.

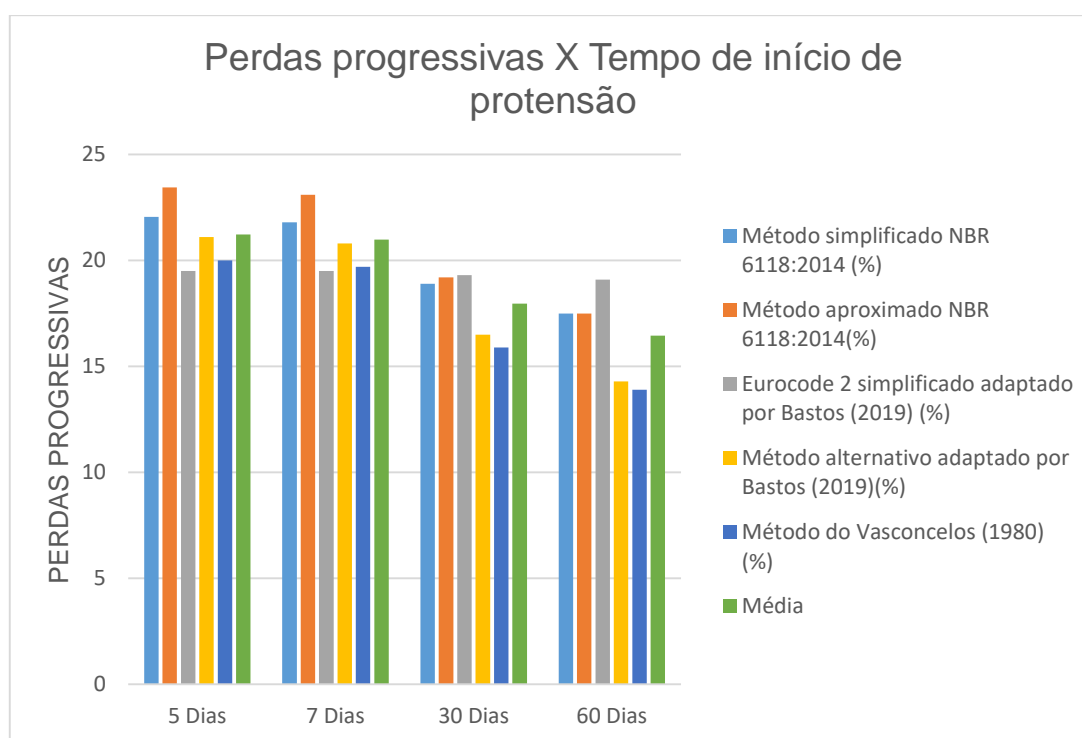
No método simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019), a perda de tensão do aço de protensão com o decorrer do tempo acontece de maneira mais rápida, do que considerar a relaxação do aço, ou seja, a relaxação do aço dá-se pelo alívio de tensão da armadura, devido a retração e fluência do concreto. O método de Vasconcelos (1980) também considera o valor da relaxação pura do aço sob comprimento constante, assim como no método simplificado do Eurocode 2 adaptado

por Bastos (2019), a diferença está que no primeiro método não considera o fator de redução, logo o valor da perda por relaxação é considerada integralmente.

Além de que o método de Vasconcelos (1980) é iterativo o que implica em uma convergência para valores menores das perdas progressivas, além de obter-se resultados mais onerosos em comparado as outras metodologias.

Os resultados mostram que os métodos simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019) e o método de Vasconcelos (1980), são mais sensíveis para os valores obtidos das perdas progressivas em função do tempo de início de protensão e também para as variáveis de retração e fluência do concreto e relaxação do aço.

Figura 30 – Perdas progressivas de protensão para uma umidade de 55.



Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 11 apresenta os valores das perdas progressivas considerando uma umidade relativa do ar de 70. Aplicando novos valores (Anexo A, Tabela A3) de deformação específica de retração e coeficiente de fluência do concreto, para cada metodologia, encontrou-se os valores das perdas progressivas.

Observa-se que, ao aumentar a umidade relativa do ar em 20% em comparado a Tabela 9, às perdas progressivas reduziram para o valor em média de 19,7% para

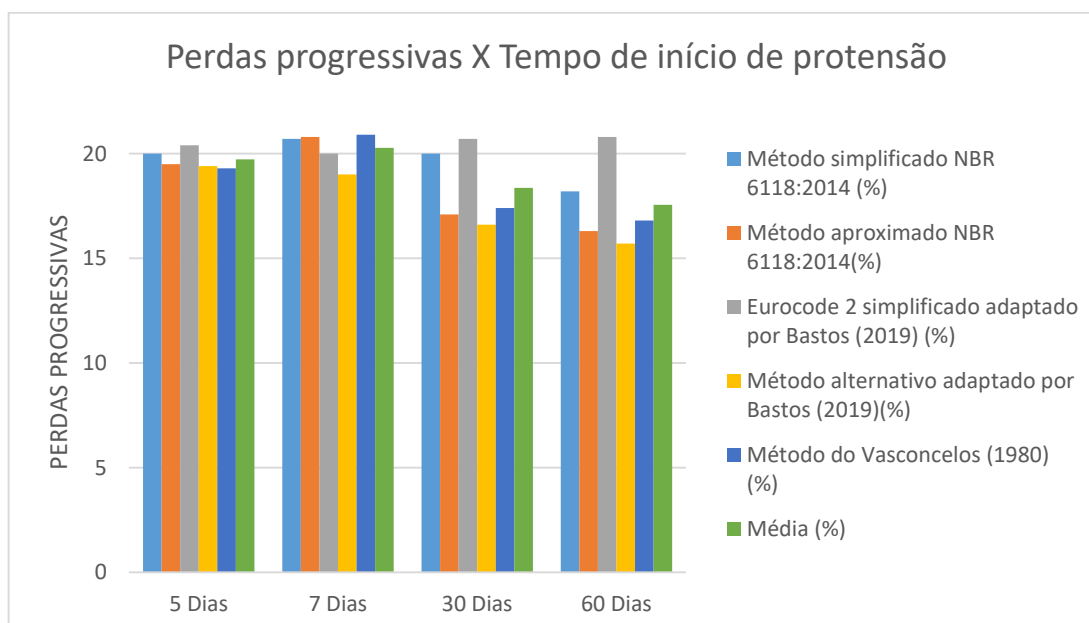
todos os métodos cálculo de perdas progressivas, além de que possui um desvio padrão de 0,5%, no 5º dia para início de protensão, logo não há dispersão dos resultados das perdas progressivas, assim como, para os 7 dias de início de protensão em que a média ficou de 20,3% de perdas progressivas e um desvio padrão de 0,8%, ou seja, bons resultados obtidos pelas diferentes metodologias de perdas progressivas para essa umidade.

Tabela 1 – Resultados das perdas progressivas para uma umidade de 70.

Dias	5 Dias	7 Dias	30 Dias	60 Dias
Método simplificado NBR 6118:2014 (%)	20	20,7	20	18,2
Método aproximado NBR 6118:2014(%)	19,5	20,8	17,1	16,3
Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019) (%)	20,4	20	20,7	20,8
Método alternativo adaptado por Bastos (2019)(%)	19,4	19	16,6	15,7
Método do Vasconcelos (1980) (%)	19,3	20,9	17,4	16,8
Média (%)	19,7	20,3	18,4	17,6
Desvio padrão(%)	0,5	0,8	1,9	2,0

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 31 – Perdas progressivas de protensão para uma umidade de 70.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 31 mostra que, ao se aumentar a umidade relativa do ar para 70, o método do Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019) e o método

simplificado da NBR 6118:2014 obtiveram valores das perdas progressivas próximos, devido a redução da fluência do concreto, em que ambas metodologias foram iguais.

De fato, os valores mostram novamente que nas idades iniciais de protensão os valores de fluência do concreto são mais expressivos, porém, ao passar o tempo, a fluência do concreto e retração se reduzem, diminuindo assim os valores das perdas progressivas.

A Tabela 12 apresenta os valores das perdas progressivas considerando uma umidade relativa do ar de 75 em que aplicando esse novos valores (Anexo A, Tabela A4) de deformação específica de retração e coeficiente de fluência para cada metodologia, e os cálculos encontra-se no Anexo B, nas Tabelas B13, B14, B15 e B16.

Observa-se que para os 60 dias de início de protensão, obteve-se um o desvio padrão elevado de 2,7%, de fato, isso acontece pois o valor da perda progressiva do Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019) foi de 18,7%.

Tabela 12 – Resultados das perdas progressivas para uma umidade de 75.

Dias	5 Dias	7 Dias	30 Dias	60 Dias
Método simplificado NBR 6118:2014 (%)	17,9	17,2	16,1	15,2
Método aproximado NBR 6118:2014(%)	18,6	17,4	16,2	14,9
Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019) (%)	18,7	18,9	18,7	18,7
Método alternativo adaptado por Bastos (2019)(%)	16	14,6	12,9	11,4
Método do Vasconcelos (1980) (%)	16,6	15,6	14,3	13,1
Média (%)	17,6	16,7	15,6	14,7
Desvio padrão (%)	1,2	1,7	2,2	2,7

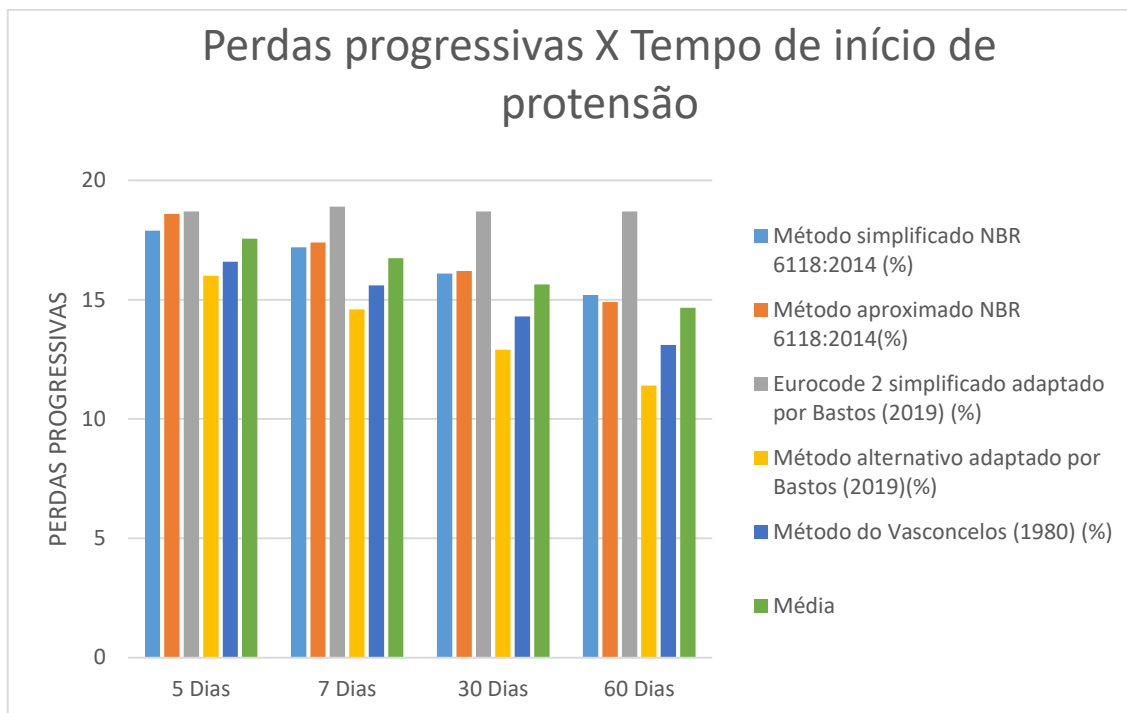
Fonte: Elaborada pelo autor

Para uma umidade relativa de 75 os valores das perdas progressivas reduziram consideravelmente na média de 17,6%, assim como, um desvio padrão de 1,2% ao 5º dia de início de protensão. Esses resultados mostram uma redução dos valores das perdas progressivas no método simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019) e método de Vasconcelos (1980).

Observa-se na Figura 32 que no método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019), manteve-se constante para os valores das perdas progressivas, como explicado anteriormente. No método de Vasconcelos (1980) e no método simplificado Alternativo adaptado por Bastos (2019), os valores das perdas

progressivas reduziram próximos de 13,1% e 11,4%, para o início de protensão aos 60 dias, novamente, há uma convergência desses valores das perdas progressivas para valores menores, devido a retração e fluência do concreto.

Figura 32 – Perdas progressivas de protensão para umidade de 75.



Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 13 apresenta os valores das perdas progressivas considerando uma umidade média relativa do ar de 90. Em geral, os resultados obtido para essa umidade relativa do ar, mostraram-se com o valor do desvio padrão alto para todos os métodos, como visto na Tabela 13, que há uma grande dispersão dos resultados das perdas progressivas para os métodos de cálculo.

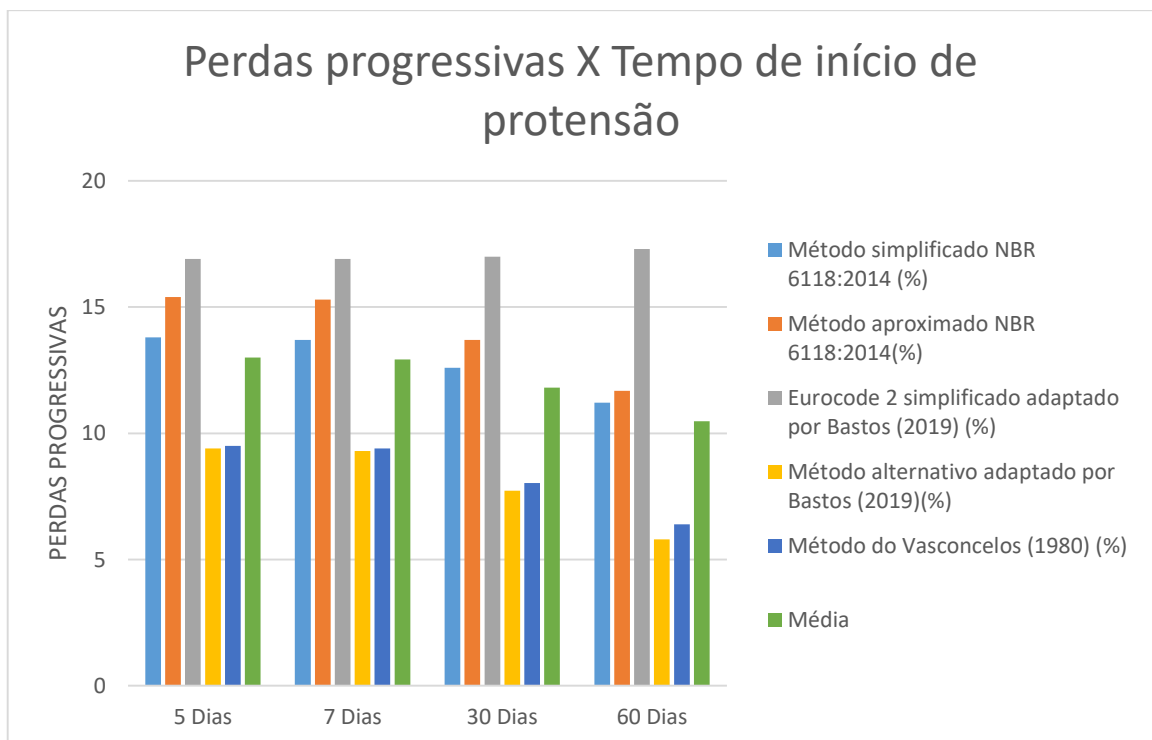
Os métodos simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019) e o metodos de Vasconcelos, mostraram-se novamente sensíveis para umidade relativa do ar alta.

Tabela 13 – Resultados das perdas progressivas para uma unidade de 90.

Dias	5 Dias	7 Dias	30 Dias	60 Dias
Método simplificado NBR 6118:2014 (%)	13,8	13,7	12,6	11,21
Método aproximado NBR 6118:2014(%)	15,4	15,3	13,7	11,68
Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019) (%)	17	17	17	17,3
Método alternativo adaptado por Bastos (2019)(%)	9,4	9,3	7,73	5,8
Método do Vasconcelos (1980) (%)	9,5	9,4	8,03	6,4
Média (%)	13,0	12,9	11,8	10,5
Desvio padrão(%)	3,4	3,4	3,9	4,7

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 33 – Perdas progressivas de protensão para unidade de 90.



Fonte: elaborado pelo autor

Observa-se na Figura 33 que as perdas progressivas estão na média de 13% para o início de protensão aos 5 dias e um desvio padrão de 3,4%, assim como, aos 60 dias de início de protensão o valor em média das metodologia foi de 10,5% de perdas progressivas e um desvio padrão de 4,7%, de fato, essa redução é devida a diminuição da fluência e a retração do concreto, o que implica em uma redução do volume da peça de concreto, gerando assim, um alívio de tensão no aço de protensão.

Essa dispersão dos valores das perdas progressivas, aconteceu devido ao método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019), em que o valor do coeficiente de relaxação do aço está fixa em 6,5% e para uma tensão no aço elevado, o que implica em um aumento da perda progressiva.

5.2 PERDAS PROGRESSIVAS DEVIDO A RELAXAÇÃO DO AÇO

Para os cálculos, utilizou-se a Tabela 2 (Valores de Ψ_{1000} , em porcentagem) para os aços de baixa relaxação (RB) e relaxação normal (RN) com variações de tensões do aço e fixando-se um f_{ptk} de 1900 MPa e um coeficiente de fluência do concreto de 6,52 e deformação específica de retração de 0,481%.

Os valores obtidos de todas as tabelas podem ser encontrados, de forma mais detalhada, no Anexo C deste trabalho.

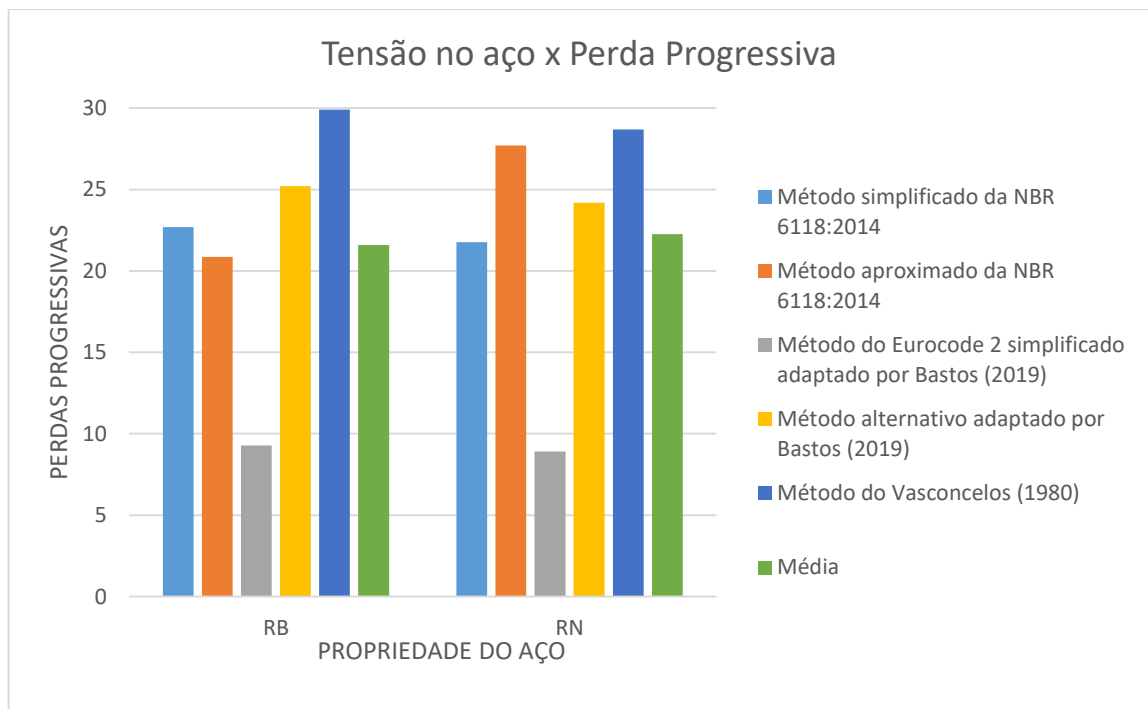
A Tabela 14 apresenta os valores das perdas progressivas considerando uma tensão $0,5f_{ptk}$, nessas condições de tensão a NBR 6118: 2014 indica que não há perdas devida à relaxação do aço, tanto para aços RB quanto RN. Nessa circunstância, a tensão na armadura (σ_{po}) é de 950 MPa. Os cálculos encontra-se no Anexo C, na Tabela C1 e C2.

Para uma tensão de 950 MPa, a média das perdas progressivas para aços do tipo RB foi de 21,6% e um desvio padrão de 7,7% e para aços do tipo RN a média de 22,3% e um desvio padrão de 8%. Essa dispersão dos valores das perdas progressivas, acontece devido o método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019), em que como não há perda por relaxação do aço para uma tensão de 0,5 da resistência mínima à tração, logo apenas estarão atuando a fluência e retração na peça de concreto o que reduzirá as perdas perdas progressivas.

Tabela 24 – Resultados das perdas progressivas para uma tensão de $0,5f_{ptk}$

0,5f _{ptk}	RB	RN
Método simplificado NBR 6118:2014 (%)	22,6	21,7
Método aproximado NBR 6118:2014(%)	20,8	27,6
Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019)(%)	9,2	8,9
Método alternativo adaptado por Bastos (2019)(%)	25,2	24,1
Método do Vasconcelos (1980)(%)	29,9	28,6
Média(%)	21,6	22,3
Desvio padrão(%)	7,7	8,0

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 34- Perdas progressivas devido a uma tensão de $0,5 f_{ptk}$ para aços de RB e RN.

Fonte: elaborado pelo autor

Observa-se na Figura 34 que para o método aproximado da NBR 6118:2014 os valores obtidos das perdas progressivas para todas as variações feitas se mantiveram constante de 20,8% para aços tipo relaxação baixa e 27,6% relaxação normal, de fato isso acontece, pois, os valores do coeficiente de fluência e a tensão no concreto

adjacente ao cabo resultante provocada pela protensão e pela carga permanente não estão sofrendo variações.

O método simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019), depende exclusivamente da retração e fluência do concreto, logo não sofreu grandes variações nos valores das perdas progressivas, devida à relaxação do aço para aços tipo RB e RN.

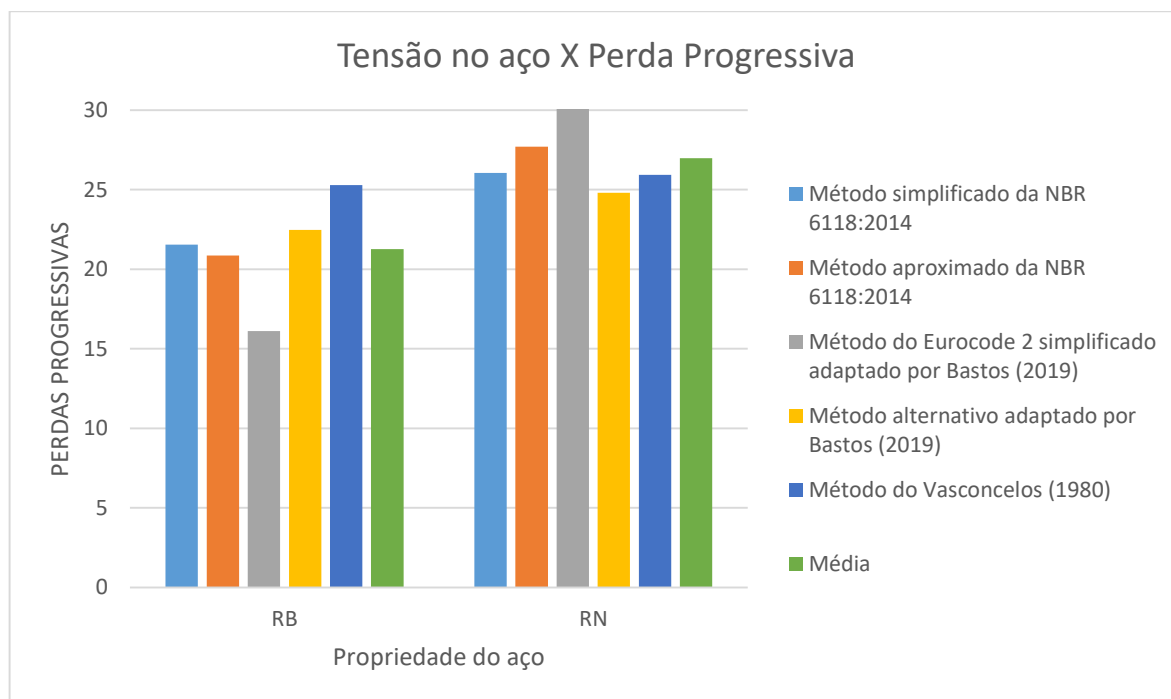
A Tabela 15 apresenta os valores das perdas progressivas, considerando uma tensão $0,6f_{ptk}$, e utilizando os valores de $\Psi_{1000} = 1,3\%$ para aços RB e $\Psi_{1000} = 3,5\%$ para aços RN, conforme a Tabela 2. Nessa condição, a tensão na armadura (σ_{po}) é de 1140 MPa. Os cálculos encontram-se no Anexo C, na Tabela C3 e C4.

Tabela 15 – Resultados das perdas progressivas para uma tensão de $0,6 f_{ptk}$ e $\Psi_{1000} = 1,3$ RB e $\Psi_{1000} = 3,5$ RN

0,6 f_{ptk}	RB	RN
Método simplificado NBR 6118:2014 (%)	21,5	26,0
Método aproximado NBR 6118:2014(%)	20,8	27,6
Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019)(%)	16,1	30,3
Método alternativo adaptado por Bastos (2019)(%)	22,4	24,8
Método do Vasconcelos (1980)(%)	25,2	25,9
Média(%)	21,3	27,0
Desvio padrão(%)	3,3	2,2

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 35 - Perdas progressivas devido a uma tensão de $0,6f_{ptk}$ para aços RB e RN.



Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 35 mostra que para o método simplificado da NBR 6118:2014 e o método aproximado da NBR 6118:2014, não obteve-se grandes variações de perdas progressivas para aços do tipo RB.

O método do Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019), para aços de relaxação baixa, vê-se um aumento nos valores das perdas progressivas de 16,1% e para aços de relaxação normal para 30,3% de perda progressiva, reforça, mais uma vez, a propriedade discutida anteriormente sobre o método, com o aumento da tensão no aço de protensão, o valor da relaxação pura também aumenta, porém, o valor do coeficiente de relaxação é reduzido, logo a tendência é obter perda progressiva maior devido a relaxação do aço.

O método simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019), manteve-se com poucas variações nos valores das perdas progressivas, isso se justifica por estar relacionado diretamente à retração e fluência do concreto, além de que, ao aumentar a tensão aplicada na peça de concreto, essa é comprimida e se deforma, o que leva a um encurtamento da peça, logo a armadura de protensão também se encurta gerando um alívio de tensões do aço de protensão.

A Tabela 16 apresenta os valores das perdas progressivas, considerando uma tensão $0,7f_{ptk}$, e utilizando os valores de $\Psi_{1000} = 2,5$ para aços RB e $\Psi_{1000} = 7,0$ para aços RN, conforme a Tabela 2. Nessa condição, a tensão na armadura (σ_{po}) é de 1330 MPa.

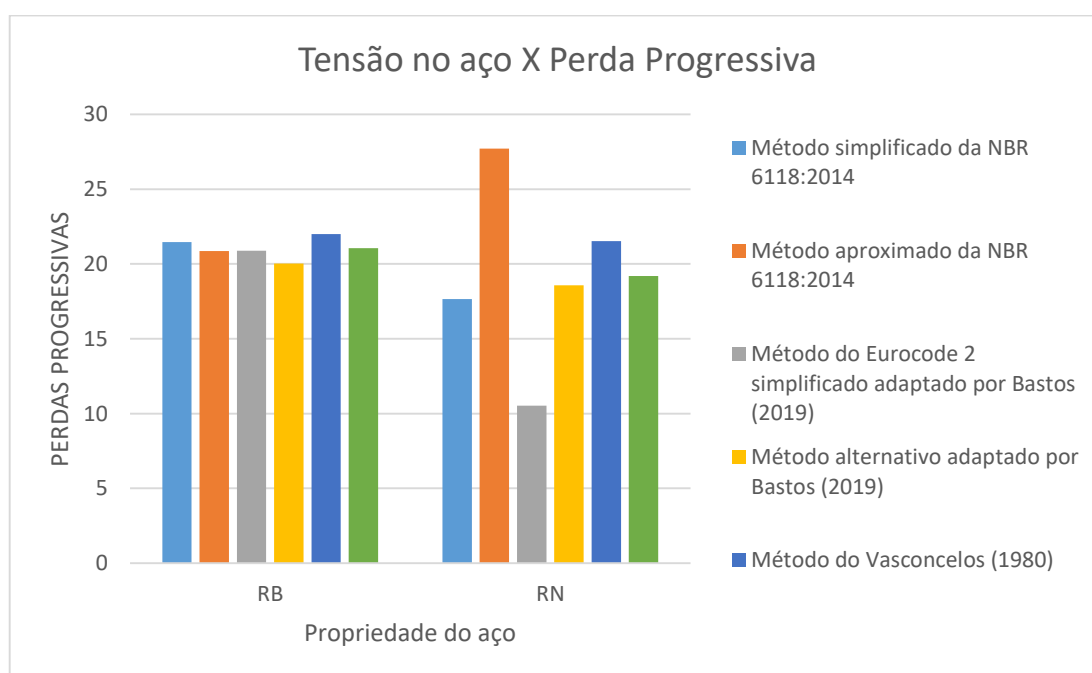
Tabela 36 – Resultados das perdas progressivas para uma tensão de $0,7 f_{ptk}$ e $\Psi_{1000} = 2,5\%$, RB e $\Psi_{1000} = 7,0\%$ RN

0,7 f_{ptk}	RB	RN
Método simplificado NBR 6118:2014 (%)	21,4	17,6
Método aproximado NBR 6118:2014(%)	20,8	27,6
Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019)(%)	20,8	10,5
Método alternativo adaptado por Bastos (2019)(%)	20,0	18,5
Método do Vasconcelos (1980)(%)	21,9	21,5
Média(%)	21,0	19,2
Desvio padrão(%)	0,7	6,2

Fonte: elaborada pelo autor

Para a tensão aplicada no aço de protensão de 1330 MPa, aços do tipo RB, a média obtida das perdas progressivas foi de 21% e um desvio padrão de 0,7%, e mostra que os valores das perdas progressivas foram próximos, ou seja, não uma dispersão dos resultados. Para aços do tipo RN, a média das perdas progressivas foi de 19,2% e um desvio padrão de 6,2, e mostra que há uma grande dispersão dos resultados, de fato, isso acontece devida a perda progressiva obtida pelo método do simplificado do Eurocode 2.

Figura 36 - Perdas progressivas devido a uma tensão de $0,7f_{ptk}$ para aços RN e RB.



Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 36 mostra que para todos os métodos de cálculo das perdas progressivas, os valores ficam na média de 21%, assim como o desvio padrão de 0,7%, mostrando que não há uma dispersão entre os resultados das perdas progressivas para uma tensão de 1330 MPa e um coeficiente de relaxação de 2,5%.

Porém, para o aço tipo relaxação normal, os valores tiveram uma dispersão dos resultados de 6,2%, devido o método aproximado da NBR 6118: 2014 possuir uma perda progressiva alta de 27,6%, como explicado anteriormente, o valor do coeficiente de fluência do concreto é constante.

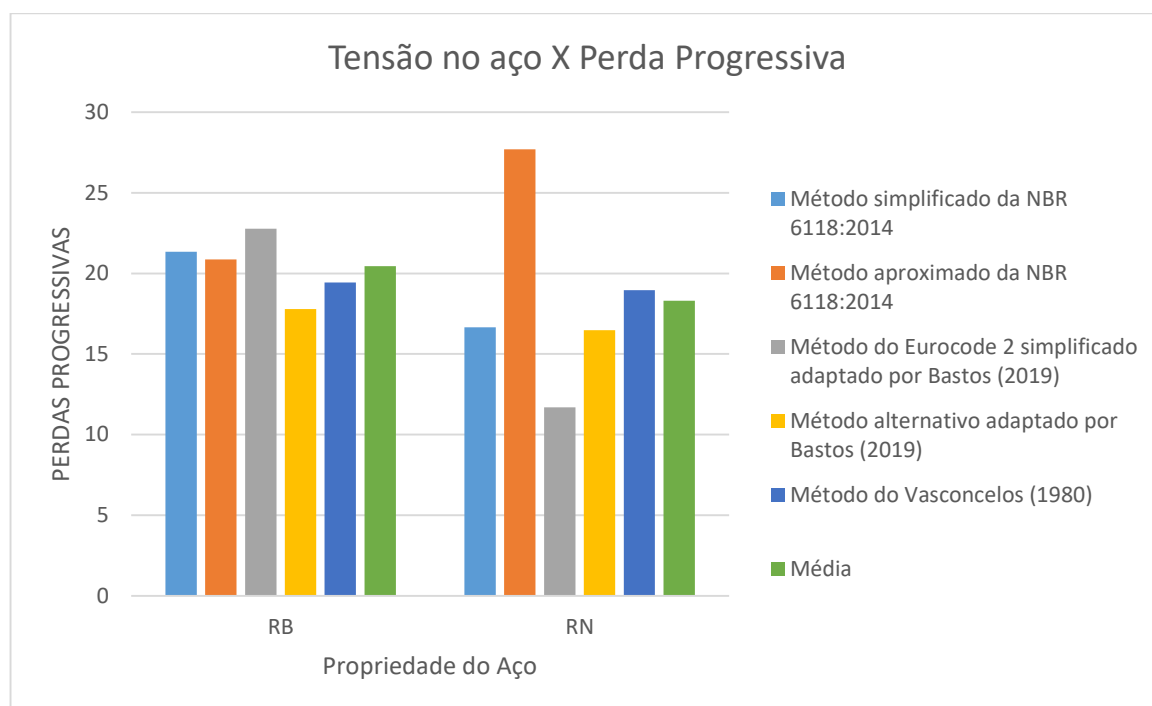
A Tabela 17 apresenta os valores das perdas progressivas, considerando uma tensão $0,8f_{ptk}$, e utilizando os valores de $\Psi_{1000} = 3,5\%$ para aços RB e $\Psi_{1000} = 12,0\%$ para aços RN, conforme a Tabela 2.

Tabela 17 – Resultados das perdas progressivas para uma tensão de $0,8 f_{ptk}$ e $\Psi_{1000} = 3,5$ RB e $\Psi_{1000} = 12,0$ RN

0,8f _{ptk}	RB	RN
Método simplificado NBR 6118:2014 (%)	21,3	16,6
Método aproximado NBR 6118:2014(%)	20,8	27,6
Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019)(%)	22,7	11,6
Método alternativo adaptado por Bastos (2019)(%)	17,7	16,4
Método do Vasconcelos (1980)(%)	19,4	18,9
Média(%)	20,4	18,3
Desvio padrão(%)	1,9	5,9

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 37 - Perdas progressivas devido a uma tensão de $0,8f_{ptk}$ para aços de RB e RN.



Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 37 mostra os valores das perdas progressivas em que, para os métodos simplificado e aproximado da NBR 6118:2014 e aço tipo RB, não sofreram variações nos resultados das perdas progressivas, ou seja, ficaram muito próximos.

O método simplificado da NBR 6118:2014, como visto em todas as tabelas, ao ser transferido para o concreto o valor inicial da força de protensão, ela depende exclusivamente do coeficiente de fluência do aço e a tensão inicial utilizada, ou seja, conforme a tensão aplicada no aço é maior, maior será a perda progressiva porém o coeficiente de fluência do aço depende do coeficiente de relaxação e este sendo maior, haverá uma redução na parcela de relaxação.

No método aproximado da NBR 6118:2014 os valores das perdas progressivas não sofreram variações novamente. No método do Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019), os valores das perdas progressivas reduzidos para aços do tipo relaxação normal, de forma que, o valor do coeficiente de relaxação do aço é maior para aços do tipo RN, logo o valor da perda por relaxação pura do aço é menor.

No método Simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019), como a tensão no cabo de protensão é maior, há um encurtamento da peça de concreto devida a

compressão do cabo de protensão na peça, logo reduz-se as perdas progressivas pelo alívio de tensão na armadura.

E, o método de Vasconcelos (1980), os valores das perdas progressivas ficaram em torno de 19%, isso acontece pelo fato de que o método não considera o coeficiente de relaxação do aço, logo não há variações para essa metodologia nos resultados obtidos das perdas progressivas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÃO

Conforme os objetivos propostos, foram calculadas as perdas progressivas a partir de uma viga isostática, fazendo diversas variações de umidade relativa média do ar, tempo de início de protensão, variação de tensão e coeficiente de relaxação do aço.

As perdas progressivas foram calculadas por diferentes metodologias, no geral, observa-se que, independentemente do método de cálculo utilizado, os valores das perdas progressivas tiveram um aumento devido a fluência e retração do concreto nas idades iniciais de protensão. Porém, o método aproximado da NBR 6118:2014 é mais conservador, se mantendo sempre constante nas perdas progressivas, comparado aos outros métodos. Já o método do Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019) se manteve próximos aos valores das perdas progressivas para diferentes tempos de início de protensão, pois, mesmo diminuindo a fluência e a retração do concreto, ele depende da perda de tensão por relaxação pura do aço e, na fórmula de cálculo da perda progressiva, fixa o valor um coeficiente de redução de 0,8 da perda devido a relaxação do aço, logo, não varia muito os valores das perdas progressivas. Porém, o método de Vasconcelos (1980) também depende da perda de tensão por relaxação pura do aço, mas o método considera 100% da relaxação e isso implica na redução dos valores das perdas em conjunto com as perdas por retração e fluência do concreto, além de que o método é iterativo e mostrou-se nos resultados a tendência de convergir rapidamente para menor valor de perda progressiva em função de tempo de início de protensão acima de 30 dias e comparado aos outros métodos não iterativos os valores obtidos são bem onerosos.

Já no método simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019), depende exclusivamente da retração e da fluência do concreto, logo se diminui ambos valores, isso implica na redução rápida das perdas progressivas. Já o Método simplificado da NBR 6118:2014 a lógica é parecida com o Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019), ambos possuem uma única operação de cálculo, no entanto, ele só se diferencia porquê não considera a relaxação pura do aço e sim, o coeficiente de fluência do aço e a força máxima aplicada à armadura de protensão pelo equipamento de tração.

Para os cálculos que foram modificados as tensões e o coeficiente de relaxação do aço, pôde-se observar que, no método do Eurocode 2 simplificado adaptado por Bastos (2019), os valores das perdas progressivas são reduzidas de forma que, quanto maior for o coeficiente de relaxação do aço, menor será o valor da perda progressiva. Para o método aproximado da NBR 6118:2014, os valores para aço de relaxação baixa mantiveram valores constantes de 20,8% de perdas progressivas e para aços de relaxação normal 27,6% de perdas progressivas, ou seja, novamente se mostra que o método é conservador e não considera variações como as outras metodologias de cálculos para perdas progressivas e também quanto maior a tensão de compressão na peça maior será o valor da perda progressiva. Já o método simplificado da NBR 6118:2014, por depender exclusivamente da força aplicada pelo aparelho de tração e o valor do coeficiente de fluência do aço, quanto maior for o valor do coeficiente de relaxação do aço menor é o valor obtido pelo método.

O método simplificado alternativo adaptado por Bastos (2019), como depende da retração e também da fluência do concreto, não houve grandes variações das perdas progressivas, mas ao aumentar os valores das tensões, reduziram-se as perdas progressivas devido à redução de volume da peça de concreto, logo gera um alívio de tensão no aço de protensão. O método de Vasconcelos (1980) não obteve grandes variações nas perdas progressivas para aços do tipo RN e RB pois o método não considera o coeficiente de relaxação.

Conclui-se que o trabalho cumpriu com os objetivos propostos, mostrando que as metodologias de cálculos para as perdas progressivas dependem exclusivamente das variações utilizadas e que, a relaxação do aço, a fluência e a retração do concreto são fatores importantes para os cálculos, independentemente do tipo de metodologia utilizada.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se as seguintes atividades para dar continuidade ou melhorar a acurácia dos valores encontrados neste trabalho:

- a)** Existem outras metodologias de cálculos para perda progressiva como a norma Americana ACI e o Método dos prismas equivalentes, calcular e comparar esses valores.
- b)** Considerar novos valores para o módulo de elasticidade do concreto e também do aço ou alterar novas configurações de vigas e calcular as perdas progressivas entre várias metodologias.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 7482 – Fios de aço de estruturas de concreto protendido – especificação. Rio de Janeiro, 2020.

_____. NBR 7483 – Cordoalhas de aço para concreto protendido – especificação. Rio de Janeiro, 2020.

_____. NBR 7484 – Barras, cordoalhas e fios de aço destinados a armaduras de protensão – método de ensaio de relaxação isotérmica. Rio de Janeiro, 2020.

DUARTE, E. P. et al. Projeto e cálculo de uma viga isostática de concreto protendido. **IBRACON CONCRETO & CONSTRUÇÕES**, São Paulo-SP, 79. ed., p. (92 a 101), ABR-JUN, 2015.

DUARTE, E. P. et al. Projeto e cálculo de uma viga isostática de concreto protendido – Parte II. **IBRACON CONCRETO & CONSTRUÇÕES**, São Paulo-SP, 80. ed., p. (143 a 162), OUT-DEZ, 2015.

DOLAN, C. W; HAMILTON, R.H (TREY). **Prestressed concrete: Building, Design, and construction**. Suíça:Springer, 2019. p. 1-3.

NAAMAM, E. A. **Prestressed concrete analysis and design**. 2. ed. Michigan: TECHNOPRESS 3000, 2004.

VERÍSSIMO, G. S. CÉSAR JR., K. M. L. **Concreto protendido: fundamentos básicos**. Notas de aula, 4. ed. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil. 1998. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/CP-vol1.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2020.

BASTOS, P. S. S. **Concreto protendido**. Notas de aula. Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Civil, 2019. Disponível em: <<https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/Protendido/Ap.%20Protendido.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2020.

CARVALHO, R.C. **Estruturas de Concreto Protendido: cálculo e detalhamento**. São Paulo: Ed. Pini. 2012.

SCHMID, M. T. **Perdas da Força de Protensão**. Rudloff industrial Ltda. São Paulo-SP, 2 ed., REV. 01, 1998.

VASCONCELOS, A. C. **Manual Prático para a correta utilização dos Aços no concreto Protendido em Obediência às Normas Atualizadas**. Livro Técnico e científico Editora S.A. São Paulo, 1980.

HANAI, J. B. **Fundamentos do concreto protendido**. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2005. Disponível em:
<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp_ebook_2005.pdf>
Acesso em: 11 de nov.2020.

GILBERT, R.I. et al. **Design of prestressed concrete to Eurocode 2**. New York, Ed. CRC Press, 2a ed., 2017, p.183.

ANEXO

ANEXO A - Novos valores de deformação específica para retração e coeficientes de fluência do concreto.

Tabela 1A- Coeficientes de fluência e deformação específica para umidade relativa do ar de 40%

Umidade de 40%		
tempo (dias)	$\epsilon_{cs} (t_{\infty}, t_0)$	$\varphi (t_{\infty}, t_0)$
5	0,518	4,44
7	0,512	3,94
30	0,441	3,32
60	0,397	2,86

Tabela 2A- Coeficientes de fluência e deformação específica para umidade relativa do ar de 55%

Umidade de 55%		
Tempo (dias)	$\epsilon_{cs} (t_{\infty}, t_0)$	$\varphi (t_{\infty}, t_0)$
5	0,470	3,78
7	0,466	3,71
30	0,410	2,84
60	0,367	2,46

Tabela 3A- Coeficientes de fluência e deformação específica para umidade relativa do ar de 70%

Umidade de 70%		
Tempo (dias)	$\epsilon_{cs} (t_{\infty}, t_0)$	$\varphi (t_{\infty}, t_0)$
5	0,483	2,90
7	0,481	3,21
30	0,450	2,36
60	0,364	2,18

Tabela 4A- Coeficientes de fluência e deformação específica para umidade relativa do ar de 75%

Umidade de 75%		
Tempo (dias)	$\epsilon_{cs} (t^\infty, t_0)$	$\phi (t^\infty, t_0)$
5	0,352	2,72
7	0,350	2,43
30	0,326	2,16
60	0,312	1,88

Tabela 5A- Coeficientes de fluência e deformação específica para umidade relativa do ar de 90%

Umidade de 90%		
Tempo (dias)	$\epsilon_{cs} (t^\infty, t_0)$	$\phi (t^\infty, t_0)$
5	0,174	1,98
7	0,173	1,95
30	0,166	1,58
60	0,166	1,10

ANEXO B - Tabelas de cálculos para cada metodologia de perda progressivas, considerando umidade relativa do ar e tempo de início de protensão.

Tabela 1B- Umidade de 40% para um tempo de protensão de 5 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	Mpa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cpo}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método Simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,0005182	-0,0005182	-0,0005182	-0,0005182	-0,0005182	-0,0005182	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	4,443	4,443	4,443	4,443	4,443	4,443	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	3,2215	3,2215	3,2215	3,2215	3,2215	3,2215	
Π	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-341,252557	-335,8757731	-327,9218453	-325,6735439	-340,2382542	-353,8020956	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	24,48009734	24,09438832	23,52380526	23,36252108	24,40733531	25,38035119	
Método Aproximado da NBR 6118:2014							
aço tipo Relaxação Baixa							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	4,443	4,443	4,443	4,443	4,443	4,443	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	25,04277945	24,87082254	24,97399669	25,7478028	28,18959099	29,96074721	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0005182	0,0005182	0,0005182	0,0005182	0,0005182	0,0005182	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	4,443	4,443	4,443	4,443	4,443	4,443	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,p0}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+r}$							
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+r}/$	307,3697871	302,026407	286,5581802	268,5146321	248,3049715	239,600661	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+r}/$	22,04948257	21,6661698	20,5565409	19,26216873	17,81240829	17,18799577	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+r}/$							

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0005182	0,0005182	0,0005182	0,0005182	0,0005182	0,0005182	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\Delta\sigma_{pr}(MPa)$	4,443	4,443	4,443	4,443	4,443	4,443	
$\sigma_{c,p0g}(MPa)$	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$E_c(MPa)$	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	8,591966667	8,591966667	8,591966667	8,591966667	8,591966667	8,591966667	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	96,18842222	93,26379972	90,30679427	87,91751115	85,65139772	84,74129562	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	199,5800245	190,8463145	186,3439398	192,7207153	222,5133066	245,0943287	
$\sigma_{pi}(MPa)$	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pi}(MPa)$	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pi}(MPa)$	35,0449395	34,72467509	38,27952165	43,54074629	52,85424036	58,5874077	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	330,8133862	318,8347893	314,9302557	324,1789728	361,0189447	388,423032	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	23,73123287	22,8719361	22,59184044	23,25530651	25,89805916	27,86391908	24,4
Método de Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	55	U<90%					
h_{fic}	0,8500035						
EC	30000						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,0005182						
$0,8(1-f_{ct}/f_{c\infty})$	0,498395722						
ϕ_{1c}	3,39872						
ϕ_{2c}	0,674514991						
ϕ_{∞}	4,443						
n	6,666666667						
ϵ_{1s}	-0,000477056						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pi}(MPa)$	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
P_o	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
η	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	319,3645478	319,4276405	319,6288574	319,9121747	320,3000098	320,5082806	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}$	321,0379512	321,0516856	321,0650879	321,075686	321,0855934	321,1103797	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}/\sigma_{p0}$	23,02998215	23,0309674	23,03192883	23,0326891	23,03339981	23,03517789	23,0

Fonte: Autor

Tabela 2B- Umidade de 40 % com um tempo de protensão de 7 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	Mpa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método Simplificado da NBR6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,0005121	-0,0005121	-0,0005121	-0,0005121	-0,0005121	-0,0005121	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,97285	2,97285	2,97285	2,97285	2,97285	2,97285	
Γ	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-322,9008949	-318,1295953	-311,1246032	-309,2597478	-322,5969688	-334,9653351	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	23,1636223	22,8213483	22,3188381	22,18506082	23,14181986	24,02907713	
Método Aproximado da NBR 6118 :2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	22,93839281	22,78694648	22,87781428	23,55932273	25,70986053	27,26975766	
Método Simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0005121	0,0005121	0,0005121	0,0005121	0,0005121	0,0005121	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,PQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}$	308,0285854	303,1155475	288,8111767	271,9665131	252,8931592	244,6107066	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I/f}$	22,09674214	21,74430039	20,71816189	19,50979291	18,14154657	17,54739646	

(conclusão)

Método Alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0005121	0,0005121	0,0005121	0,0005121	0,0005121	0,0005121	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,0)$	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	3,9457	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	8,37647	8,37647	8,37647	8,37647	8,37647	8,37647	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	95,22786333	92,39796113	89,532639	87,21442982	85,01323847	84,12852733	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	177,5614537	169,9117613	166,022372	171,8033948	198,4716476	218,661252	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	30,24534038	30,1712763	33,87330545	39,02494159	47,69942223	52,93840291	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	303,0346574	292,4809987	289,4283165	298,0427662	331,1843082	355,7281822	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	21,73849766	20,98142028	20,76243303	21,3803993	23,75784134	25,51852096	22,4
Método do vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	55						
h_{fic}	0,8500035						
EC	30000						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,0005121						
$0,8(1-f_{cj}/f_{c\infty})$	0,447401485						
ϕ_{1c}	3,39872						
ϕ_{2c}	0,674514991						
ϕ^∞	3,9457						
n	6,666666667						
ϵ_{1s}	-0,000477056						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
P_o	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
η	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,cs}$	293,9517638	294,0034434	294,1682456	294,40025	294,7177659	294,8882383	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}$	295,7480533	295,7617306	295,7749574	295,7853085	295,7948771	295,8194677	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}/\sigma_{p0}$	21,21578574	21,2167669	21,21771574	21,21845829	21,2191447	21,22090873	21,2

Fonte: Autor

Tabela 3B- Umidade de 40 % com um tempo de protensão de 30 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
$\sigma_{c,p0}$	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,0004419	-0,0004419	-0,0004419	-0,0004419	-0,0004419	-0,0004419	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,66075	2,66075	2,66075	2,66075	2,66075	2,66075	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-288,7100317	-284,7594168	-279,1249823	-277,9647732	-289,9711276	-300,8962382	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	20,71090615	20,42750479	20,02331294	19,94008416	20,80137214	21,585096	20,6
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	20,32352552	20,19756523	20,2731414	20,8399627	22,62859878	23,92598975	21,4
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0004419	0,0004419	0,0004419	0,0004419	0,0004419	0,0004419	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,p0}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$							
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}/$	297,8766408	293,6353247	281,2151466	266,4401955	249,5000415	242,0712516	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}/$	21,36848212	21,06422702	20,17325299	19,11335692	17,89813784	17,36522608	19,5

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0004419	0,0004419	0,0004419	0,0004419	0,0004419	0,0004419	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	3,3215	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	8,105983333	8,105983333	8,105983333	8,105983333	8,105983333	8,105983333	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	82,36053724	79,98454143	77,57446954	75,62138178	73,76422434	73,01705816	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	149,8113757	143,485522	140,3282188	145,3211992	167,9958926	185,1372653	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	21,76167458	22,05892412	26,00894952	31,07225114	38,9844636	43,61549568	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	253,9335875	245,5289876	243,9116378	252,0148322	280,7445806	301,7698191	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	18,21618275	17,61327027	17,49724805	18,07853889	20,13949645	21,64776321	18,9
Método de Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	55	U<90%					
h_{fic}	0,8500035						
EC	30000						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,0004419						
$0,8(1-f_c/f_{c\infty})$	0,248706133						
ϕ_{1c}	3,39872						
ϕ_{2c}	0,674514991						
ϕ^∞	3,3215						
n	6,666666667						
ϵ_{1s}	-0,000477056						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
P_o	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
Γ	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,cs}$	249,5623019	249,6012136	249,7252854	249,8999124	250,1388309	250,2670704	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}$	251,4960483	251,5096542	251,5226607	251,5327025	251,5418469	251,5661925	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}/\sigma_{p0}$	18,04132341	18,04229944	18,04323248	18,04395284	18,04460882	18,04635527	18,0

Fonte: Autor

Tabela 4B- Umidade de 40 % com um tempo de protensão de 60 dias

(continua)

F _{ck}	Dados						Perdas Progressivas (%)
	30	MPa					
A _c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I _c	0,12	m ⁴					
A _s	20						
A _p	35	cm ²					
f _{ptk}	190						
ρ _p	0,00574						
e _p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P _i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P ₀	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ _{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
σ _{c,p0g} (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
χ(t,t ₀)	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ _{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ε _{cs}	-0,0003978	-0,0003978	-0,0003978	-0,0003978	-0,0003978	-0,0003978	
E _p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α _p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
φ(t,t ₀)	2,861	2,861	2,861	2,861	2,861	2,861	
χ _p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ _c	2,4305	2,4305	2,4305	2,4305	2,4305	2,4305	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ _p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
Δσ _{pr} (t,t ₀)	-264,3736499	-260,9962144	-256,2583989	-255,4539104	-266,2180925	-275,9272594	
Δσ _{pr} (t,t ₀)/σ _{p0}	18,96511118	18,72282743	18,38295545	18,32524465	19,09742414	19,79392105	18,9
Método aproximado da NBR6118 :2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α _p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
φ(t,t ₀)	2,861	2,861	2,861	2,861	2,861	2,861	
σ _{c,p0g} (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
Δσ _{pr} (t,t ₀)	18,41608955	18,30872026	18,37314184	18,85630366	20,38094763	21,48685136	19,3
Metodo simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ε _{cs}	0,0003978	0,0003978	0,0003978	0,0003978	0,0003978	0,0003978	
E _p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α _p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
φ(t,t ₀)	2,861	2,861	2,861	2,861	2,861	2,861	
Δσ _{pr} (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A _p	35	35	35	35	35	35	
A _c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I _c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e _p	0	13	27	39	51	56	
σ _{c,pQ} (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
Δσ _{p,cc+cs+I}	291,5400492	287,7805272	276,7138776	263,4330364	248,0461923	241,2440207	
Δσ _{p,cc+cs+I}	20,91392032	20,6442272	19,8503499	18,89763532	17,7938445	17,30588384	19,2

(conclusão)

Método Alternativo Adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0003978	0,0003978	0,0003978	0,0003978	0,0003978	0,0003978	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	2,861	2,861	2,861	2,861	2,861	2,861	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,906433333	7,906433333	7,906433333	7,906433333	7,906433333	7,906433333	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	74,26577738	72,17114929	70,04363945	68,3174331	66,6742641	66,01270751	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	129,257924	123,8820741	121,2377103	125,6199825	145,2960937	160,1547716	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cpo}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	15,77798708	16,33243043	20,44861043	25,431743	32,76234363	36,93447547	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	219,3016884	212,3856538	211,7299602	219,3691586	244,7327014	263,1019546	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	15,73182844	15,2356997	15,18866285	15,73666848	17,55614788	18,87388484	16,4
Método de Vasconcelos (1980)							
ϵ_{cs}	200000						
E_p	55	U<90%					
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	0,8500035						
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	30000						
E_c (MPa)	0,0003978						
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	0,172128812						
ρ_{ps}	3,39872						
e_s	0,674514991						
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	2,861						
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	6,666666667						
σ_{pi} (MPa)	-0,000477056						
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	2	3	4	5	6	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
σ_{cpo}	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	218,364128	218,39473	218,4922972	218,6295978	218,8174058	218,9181918	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$	220,3873137	220,4008669	220,4137112	220,4235252	220,4323573	220,4565226	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}/\sigma_{p0}$	15,80970687	15,81067912	15,81160052	15,81230453	15,81293812	15,81467163	15,8

Fonte: Autor

Tabela 5B- Umidade de 55 % com um tempo de protensão de 5 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,0004702	-0,0004702	-0,0004702	-0,0004702	-0,0004702	-0,0004702	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,8911	2,8911	2,8911	2,8911	2,8911	2,8911	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-310,002527	-305,4810796	-298,9484288	-297,4205014	-310,6081923	-322,6949451	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	22,23834483	21,91399423	21,44536792	21,3357605	22,28179285	23,14884829	
Metodo aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	22,25046165	22,10572031	22,19256511	22,84390115	24,8992282	26,39006402	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0004702	0,0004702	0,0004702	0,0004702	0,0004702	0,0004702	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,PQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}$	301,3143724	296,6228156	282,9548139	266,8355727	248,541479	240,581264	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}/$	21,61509128	21,2785377	20,29804978	19,14171971	17,82937439	17,25834031	
						19,6	

(conclusão)

Método Alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0004702	0,0004702	0,0004702	0,0004702	0,0004702	0,0004702	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	3,7822	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	8,30562	8,30562	8,30562	8,30562	8,30562	8,30562	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	87,48828756	84,90823878	82,29466733	80,1792325	78,16982916	77,36199605	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	170,3049015	163,0059532	159,3123714	164,8913484	190,5213529	209,9175698	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	27,11313288	27,16451425	30,96002386	36,11181218	44,60949457	49,69881952	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	284,9063219	275,0787062	272,5670626	281,1823931	313,3006766	336,9783854	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	20,43804318	19,73304923	19,55287393	20,17090338	22,47494093	24,17348532	21,1
Método do vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	55	U<90%					
hfic	0,8500035						
EC	30000						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,0004702						
$0,8(1-f_c/f_{c\infty})$	0,498395722						
ϕ_{1c}	3,3982675						
ϕ_{2c}	0,674514991						
ϕ_{∞}	3,7822						
n	6,666666667						
ϵ_{1s}	-0,000477073						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
P_o	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
Γ	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,cs}$	277,6203634	277,6685311	277,8221295	278,0383491	278,3342391	278,4930894	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}$	279,4544633	279,468122	279,481291	279,4915611	279,5010185	279,5255448	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}/\sigma_{p0}$	20,04694859	20,0479284	20,0488731	20,04960983	20,05028827	20,05204769	20,0

Fonte: Autor

Tabela 6B- Umidade de 55 % com um tempo de protensão de 7 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	Mpa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118 :2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,000466	-0,000466	-0,000466	-0,000466	-0,000466	-0,000466	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,8596	2,8596	2,8596	2,8596	2,8596	2,8596	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-307,052975	-302,6109239	-296,2059392	-294,7353256	-307,7729697	-319,7076906	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	22,02675574	21,70810071	21,24863266	21,1431367	22,07840529	22,93455456	
Método Aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	21,98593757	21,84377444	21,92907232	22,56880642	24,58752293	26,05180321	
Método simplificado Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000466	0,000466	0,000466	0,000466	0,000466	0,000466	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,PQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}$	300,7916802	296,1620002	282,6653125	266,7301779	248,6208071	240,7328487	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}/$	21,57759542	21,24548065	20,2772821	19,1341591	17,83506507	17,2692144	

(conclusão)

Método simplificado Alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000466	0,000466	0,000466	0,000466	0,000466	0,000466	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	3,7192	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	8,27832	8,27832	8,27832	8,27832	8,27832	8,27832	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	86,72667016	84,17667436	81,59307726	79,50155796	77,51458486	76,71569059	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	167,5064963	160,3419451	156,723049	162,2233498	187,4518239	206,5413794	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	26,36955896	26,45528867	30,27265836	35,41300898	43,83150955	48,85864987	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	280,6027254	270,9739082	268,5887846	277,1379168	308,7979183	332,1157199	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	20,12932033	19,43858739	19,26748813	19,88076878	22,15193101	23,82465709	20,8
Método do vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	55	U<90%					
h _{fic}	27,85388128	cm					
EC	30000						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000466						
$0,8(1-f_c/f_{c\infty})$	0,447401485						
ϕ_{1c}	3,3982675						
ϕ_{2c}	0,674514991						
ϕ^∞	3,7192						
n	6,666666667						
ϵ_{1s}	-0,000477073						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
P_o	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
η	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,cs}$	273,7168631	273,7637094	273,9130922	274,1233728	274,4111267	274,5656049	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}$	275,5651901	275,5788416	275,5919884	275,6022272	275,6116418	275,6361433	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}/\sigma_{p0}$	19,76794764	19,76892694	19,76987004	19,77060453	19,7712799	19,77303754	19,8

Fonte: Autor

Tabela 7B- Umidade de 55 % com um tempo de protensão de 30 dias

(continua)

Dados							Perdas progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,00041	-0,00041	-0,00041	-0,00041	-0,00041	-0,00041	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,42055	2,42055	2,42055	2,42055	2,42055	2,42055	
Γ	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-265,7551855	-262,3857584	-257,6324984	-256,7703959	-267,3870166	-276,9991747	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	19,06421704	18,82250777	18,48152786	18,41968407	19,1812781	19,87081597	
						19,0	
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	18,33412228	18,22755189	18,29149412	18,77106089	20,28436047	21,38203551	
						19,2	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos(2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,00041	0,00041	0,00041	0,00041	0,00041	0,00041	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,pQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+r}$	293,7761229	290,0141074	278,9318355	265,6182811	250,1783359	243,3483533	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+r}/$	21,07432732	20,80445533	20,00945735	19,05439606	17,94679598	17,45684027	
						19,4	

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,00041	0,00041	0,00041	0,00041	0,00041	0,00041	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	2,8411	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,89781	7,89781	7,89781	7,89781	7,89781	7,89781	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	76,54896631	74,39207836	72,20120448	70,42349227	68,73121685	68,049868	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	128,3681729	123,032861	120,4101365	124,765448	144,310963	159,0703396	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	16,06903132	16,61893766	20,72640272	25,69314614	32,98621269	37,13346973	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	220,9861705	214,043877	213,3377437	220,8820864	246,0283926	264,2536773	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	15,85266647	15,35465402	15,30399883	15,84519989	17,64909559	18,95650483	16,5
Método de Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	55	U<90%					
h _{fic}	0,8500035						
EC	30000						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,00041						
$0,8(1-f_{cj}/f_{c\infty})$	0,248706133						
ϕ_{1c}	3,3982675						
ϕ_{2c}	0,674514991						
ϕ^∞	2,8411						
n	6,666666667						
ϵ_{1s}	-0,000477073						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
P_o	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
η	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,cs}$	219,8373088	219,8675729	219,9640625	220,0998456	220,2855763	220,3852466	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}$	221,8641306	221,8776816	221,8905189	221,900323	221,9091416	221,9332991	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}/\sigma_{p0}$	15,91564782	15,91661991	15,91754081	15,91824412	15,91887673	15,92060969	15,9

Fonte: Autor

Tabela 8B- Umidade de 55 % com um tempo de protensão de 60 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
$\sigma_{c,p0}$	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método Simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,0003678	-0,0003678	-0,0003678	-0,0003678	-0,0003678	-0,0003678	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,461	2,461	2,461	2,461	2,461	2	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,2305	2,2305	2,2305	2,2305	2,2305	2,2305	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-244,3848022	-241,4803436	-237,433061	-236,8099944	-246,2927986	-254,8283574	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	17,53119097	17,3228367	17,03250079	16,98780448	17,66806303	18,28036997	17,5
Método Aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,461	2,461	2,461	2,461	2,461	2,461	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	16,77654358	16,68515427	16,73998786	17,15123977	18,44896802	19,39027795	17,5
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0003678	0,0003678	0,0003678	0,0003678	0,0003678	0,0003678	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,461	2,461	2,461	2,461	2,461	2,461	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,pQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}$	287,4035544	284,0504619	274,1259796	262,1092127	248,043948	241,777874	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}/$	20,61718468	20,37664719	19,66470442	18,80266949	17,7936835	17,34418034	19,1

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0003678	0,0003678	0,0003678	0,0003678	0,0003678	0,0003678	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	2,461	2,461	2,461	2,461	2,461	2,461	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,7331	7,7331	7,7331	7,7331	7,7331	7,7331	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	68,76535796	66,86451583	64,93158191	63,36157883	61,8657066	61,26306929	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	111,3486518	106,7793716	104,5615025	108,3926885	125,4274217	138,279531	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	10,88845747	11,65184285	15,89774447	20,79839873	27,60806622	31,37339693	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	191,0024672	185,2957303	185,3908289	192,5526661	214,9011945	230,9159972	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	13,70175518	13,29237663	13,29919863	13,81296026	15,41615456	16,56499263	14,3
Método de Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	55	U<90%					
hfic	0,8500035						
EC	30000						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,0003678						
$0,8(1-f_c/f_{c\infty})$	0,172128812						
ϕ_{1c}	3,3982675						
ϕ_{2c}	0,674514991						
ϕ^∞	2,461						
n	6,666666667						
ϵ_{1s}	-0,000477073						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
P_o	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
Π	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,cs}$	192,9342164	192,9583638	193,0353463	193,1436642	193,2917992	193,3712814	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}$	195,0268496	195,0403571	195,0530606	195,0626769	195,0712383	195,0952472	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}/\sigma_{p0}$	13,99044832	13,99141729	13,9923286	13,99301843	13,99363259	13,99535489	14,0

Fonte: Autor

Tabela 9B- Umidade de 70 % com um tempo de protensão de 5 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	9						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método Simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,0004835	-0,0004835	-0,0004835	-0,0004835	-0,0004835	-0,0004835	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,903	2,903	2,903	2,903	2,903	2,903	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,4515	2,4515	2,4515	2,4515	2,4515	2,4515	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-280,7307154	-277,2062604	-272,0820914	-270,8369505	-281,1977729	-290,777826	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	20,13850182	19,88567148	19,51808403	19,42876259	20,17200666	20,85924147	20,0
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,903	2,903	2,903	2,903	2,903	2,903	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	18,58921653	18,48015984	18,54559385	19,03634897	20,58495398	21,7082379	19,5
Método Simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	0,0004835	0,0004835	0,0004835	0,0004835	0,0004835	0,0004835	
$\phi(t,t_0)$	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	2,903	2,903	2,903	2,903	2,903	2,903	
α_p	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,t_0)$	35	35	35	35	35	35	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
α_p	0	13	27	39	51	56	
$\phi(t,t_0)$	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)							
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	306,6540885	302,7138925	291,0882962	277,0978429	260,8585367	253,6740515	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+r/}$	21,99814121	21,71548727	20,88151336	19,87789404	18,71295098	18,19756467	20,2

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0004835	0,0004835	0,0004835	0,0004835	0,0004835	0,0004835	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	2,903	2,903	2,903	2,903	2,903	2,903	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,924633333	7,924633333	7,924633333	7,924633333	7,924633333	7,924633333	
ρ_{ps}	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	91,47137807	89,36392042	87,20032321	85,42750129	83,7253276	83,03594383	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	132,9080069	128,0573582	126,0040763	131,1361322	152,3175836	168,1806171	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,2903	0,2903	0,2903	0,2903	0,2903	0,2903	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	27,98382992	28,90317817	34,78526749	41,91532707	52,52381456	58,60604121	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	252,3632149	246,3244568	247,989667	258,4789606	288,5667258	309,8226021	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	18,10353048	17,67033406	17,7897896	18,54224968	20,70062595	22,22543774	19,2
Método do Vasconcelos (1980)							
ϵ_{cs}	200000						
E_p	75	U<90%					
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	0,80149551						
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	30000						
E_c (MPa)	0,0004835						
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	0,498395722						
ρ_{ps}	3,39783						
e_s	0,583732003						
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	2,903						
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	6,666666667						
σ_{pi} (MPa)	-0,000477088						
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	2	3	4	5	6	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	
σ_{cp0}	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	238,4148554	238,5198591	238,8689517	239,3642878	240,0463565	240,3867068	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$	266,572035	266,5937943	266,666135	266,7687809	266,9101225	266,9806515	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}/\sigma_{p0}$	19,12281456	19,12437549	19,12956492	19,13692833	19,14706761	19,15212708	19,1

Fonte: Autor

Tabela 10B - Umidade de 70 % com um tempo de protensão de 7 dias

(continua)

Dados							Perdas progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100		cm ²	
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,85814	93,379158	72,177388	55,11347767	49,335606	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (Mpa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	
η	1	1,0859083	1,370575	1,773175	2,322175	2,5941333	
ρ_p	0,0057377	0,0057377	0,0057377	0,0057377	0,005737705	0,0057377	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-291,41488	-287,54355	-281,9359	-280,60818	-291,9970812	-302,4829	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	20,904941	20,627228	20,224957	20,129712	20,94670597	21,698917	20,8
Método Aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	19,859876	19,738435	19,8113	20,357786	22,08225203	23,333097	20,9
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,16164	291,16164	291,16164	291,16164	291,1616435	291,16164	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,p0}$ (MPa)	0,7998361	0,7365595	0,583577	0,4510756	0,344434018	0,308325	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	305,13971	300,92699	288,55439	273,77322	256,7544456	249,26997	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}/$	21,889506	21,587302	20,699741	19,639399	18,41853986	17,881633	20,0

(conclusão)

Método Alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\alpha_{ep,k}$	8,0576667	8,0576667	8,0576667	8,0576667	8,057666667	8,0576667	
ρ_{ps}	0,0090164	0,0090164	0,0090164	0,0090164	0,009016393	0,0090164	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	89,684335	87,111022	84,499959	82,383369	80,3702213	79,560155	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	144,84113	138,74739	135,71642	140,56384	162,5166078	179,10794	
σ_{pr} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,16164	291,16164	291,16164	291,16164	291,1616435	291,16164	
$\phi(t,\sigma_{pr})$	0,2088678	0,2088678	0,2088678	0,2088678	0,20886775	0,2088678	
σ_{cp0}	127,98314	117,85814	93,379158	72,177388	55,11347767	49,335606	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	22,253256	22,557774	26,492205	31,490953	39,21979742	43,722806	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	256,77872	248,41619	246,70859	254,43816	282,1066265	302,3909	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	18,420282	17,820387	17,69789	18,252379	20,2372042	21,692317	19,0
Método de Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	30						
E_c	30672						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000481						
$0,8(1-f_{cj}/f_{c\infty})$	0,144						
ϕ_{1c}	2,5						
ϕ_{2c}	1,37						
ϕ_{∞}	3,969						
n	6,5206051						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	8,3189041	8,3189041	8,3189041	8,3189041	8,3189041	8,3189041	
P_o	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
Γ	6,5206051	6,5206051	6,5206051	6,5206051	6,520605112	6,5206051	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	4,7882726	4,7882726	4,7882726	4,7882726	4,788272638	4,7882726	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	297,42728	297,42728	297,42728	297,42728	297,4272846	297,42728	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}$	293,00022	293,00022	293,00022	293,00022	293,0002227	293,00022	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}/\sigma_{p0}$	21,018667	21,018667	21,018667	21,018667	21,01866734	21,018667	21,0

Fonte: Autor

Tabela 11B- Umidade de 70 % com um tempo de protensão de 30 dias

(continua)

Dados							Perdas progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	9						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,85814	93,379158	72,177388	55,11347767	49,335606	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,0004507	-0,0004507	-0,0004507	-0,0004507	-0,0004507	-0,0004507	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,366	2,366	2,366	2,366	2,366	2,366	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,183	2,183	2,183	2,183	2,183	2,183	
η	1	1,0859083	1,370575	1,773175	2,322175	2,5941333	
ρ_p	0,005737705	0,0057377	0,0057377	0,0057377	0,005737705	0,0057377	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-255,3011661	-252,41149	-248,21213	-247,20451	-255,8301518	-263,8242	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	18,31428738	18,106994	17,805748	17,733465	18,35223471	18,925696	18,2
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,366	2,366	2,366	2,366	2,366	2,366	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	16,38978121	16,302162	16,354733	16,749022	17,99322172	18,895705	17,1
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	0,0004507	0,0004507	0,0004507	0,0004507	0,0004507	0,0004507	
$\phi(t,t_0)$	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	2,366	2,366	2,366	2,366	2,366	2,366	
α_p	291,1616435	291,16164	291,16164	291,16164	291,1616435	291,16164	
$\phi(t,t_0)$	35	35	35	35	35	35	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
α_p	0	13	27	39	51	56	
$\phi(t,t_0)$	0,799836066	0,7365595	0,583577	0,4510756	0,344434018	0,308325	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	302,6547905	299,26344	289,17988	276,89412	262,4323913	255,9668	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+r/}$	21,71124753	21,467966	20,744611	19,863279	18,82585303	18,362037	20,2

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0004507	0,0004507	0,0004507	0,0004507	0,0004507	0,0004507	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	2,366	2,366	2,366	2,366	2,366	2,366	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,691933333	7,6919333	7,6919333	7,6919333	7,691933333	7,6919333	
ρ_{ps}	0,007213115	0,0072131	0,0072131	0,0072131	0,007213115	0,0072131	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	85,40167607	83,487575	81,519929	79,905733	78,35422137	77,725398	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	108,4948047	104,60219	102,99281	107,24554	124,6327592	137,6415	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,16164	291,16164	291,16164	291,1616435	291,16164	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,2366	0,2366	0,2366	0,2366	0,2366	0,2366	
σ_{cp0}	127,98314	117,85814	93,379158	72,177388	55,11347767	49,335606	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	15,59509642	16,616803	21,562206	27,20282	34,9868708	39,283004	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	209,4915772	204,70657	206,07495	214,35409	237,9738514	254,6499	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	15,02809019	14,684833	14,782995	15,376907	17,07129494	18,267568	15,9
Método de Vasconcelos (1980)							
ϵ_{cs}	200000						
E_p	75	U<90%					
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	0,8500035						
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	30000						
E_c (MPa)	0,0004507						
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	0,248706133						
ρ_{ps}	3,39783						
e_s	0,674514991						
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	2,366						
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	6,666666667						
σ_{pi} (MPa)	-0,000477088						
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	2	3	4	5	6	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	29,11616435	29,116164	29,116164	29,116164	29,11616435	29,116164	
σ_{cp0}	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	0,734329492	0,7974818	1,0067657	1,3019662	1,70511308	1,9048507	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,cs}$	205,5314854	205,60754	205,86031	206,21873	206,7118246	206,95768	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}$	233,99357	234,01291	234,07718	234,16831	234,2936803	234,35619	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}/\sigma_{p0}$	16,78576543	16,787153	16,791763	16,7983	16,80729414	16,811778	16,8

Fonte: Autor

Tabela 12B- Umidade de 70 % com um tempo de protensão de 60 dias

(continua)

Dados							Perdas progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	9						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t, t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ε_{cs}	-0,0003648	-0,0003648	-0,0003648	-0,0003648	-0,0003648	-0,0003648	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t, t_0)$	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,0923	2,0923	2,0923	2,0923	2,0923	2,0923	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)$	-233,5212774	-230,9172537	-227,2572101	-226,6326519	-235,0441324	-242,668079	
$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)/\sigma_{p0}$	16,75188503	16,56508277	16,30252583	16,25772252	16,86112858	17,4080401	
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t, t_0)$	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)$	15,65432025	15,57386878	15,62213966	15,98417125	17,12658204	17,95523213	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	0,0003648	0,0003648	0,0003648	0,0003648	0,0003648	0,0003648	
$\phi(t, t_0)$	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)$	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	
α_p	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t, t_0)$	35	35	35	35	35	35	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)$	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
α_p	0	13	27	39	51	56	
$\phi(t, t_0)$	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)$	287,7082482	284,6119539	275,4023766	264,1660047	250,9050239	244,9615672	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	20,6390422	20,41692639	19,75626805	18,95021555	17,99892567	17,5725658	

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0003648	0,0003648	0,0003648	0,0003648	0,0003648	0,0003648	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	2,1846	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,613326667	7,613326667	7,613326667	7,613326667	7,613326667	7,613326667	
ρ_{ps}	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	69,16191802	67,62648042	66,04739537	64,7514361	63,50535586	63,00019781	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	100,2304071	96,65529544	95,18943259	99,13810514	115,2311993	127,267722	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,21846	0,21846	0,21846	0,21846	0,21846	0,21846	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	9,046250585	10,14170676	14,82418649	20,03543699	27,00669752	30,78807327	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	178,4385757	174,4234826	176,0610144	183,9249782	205,7432527	221,055993	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	12,80047172	12,51244495	12,62991495	13,19404435	14,75920034	15,85767525	13,6
Método de Vasconcelos (1980)							
ϵ_{cs}	200000						
E_p	75	U<90%					
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	0,8500035						
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	30000						
E_c (MPa)	0,0003648						
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	0,172128812						
ρ_{ps}	3,39783						
e_s	0,674514991						
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	2,1846						
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	6,666666667						
σ_{pi} (MPa)	-0,000477088						
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	2	3	4	5	6	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	
σ_{cp0}	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	179,4705853	179,5378488	179,7613653	180,0782399	180,5140362	180,7312661	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}$	208,0244765	208,0429989	208,1045487	208,1918065	208,3118118	208,3716304	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}/\sigma_{p0}$	14,92284624	14,92417496	14,92859029	14,93484982	14,94345852	14,94774967	14,9

Fonte: Autor

Tabela 13B- Umidade de 75 % com um tempo de protensão de 5 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
Fck	30	MPa					
Ac	0,61	m ²		6100	cm ²		
Ic	0,12	m ⁴					
As	9						
Ap	35	cm ²					
f _{ptk}	190						
ρ _p	0,00574						
ε _p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P _i (KN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P ₀	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ _{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,3356059	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
σ _{c,p0g} (Mpa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
χ(t,t0)	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ _{p0} (Mpa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ε _{cs}	-0,00035215	-0,00035215	-0,00035215	-0,00035215	-0,00035215	0,00035215	
E _p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α _p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
φ(t,t0)	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	
χ _p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ _c	2,36075	2,36075	2,36075	2,36075	2,36075	2,36075	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,59413333	
ρ _p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,00573770	
Δσ _{pr} (t,t0)	251,3300172	248,1589809	243,7964326	243,2369372	253,7900798	263,202754	
Δσ _{pr} (t,t0)/σ _{p0}	18,029413	17,8019355	17,48898369	17,44884772	18,20588808	18,811157	
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α _p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
φ(t,t0)	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	
σ _{c,p0g} (Mpa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
Δσ _{pr} (t,t0)	17,84235064	17,74057335	17,80163973	18,25963756	19,70487517	20,7531813	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ε _{cs}	0,00035215	0,00035215	0,00035215	0,00035215	0,00035215	0,00035215	
E _p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α _p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
φ(t,t0)	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	
Δσ _{pr} (Mpa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,161643	
Ap	35	35	35	35	35	35	
Ac	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
Ic	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
ε _p	0	13	27	39	51	56	
σ _{c,PQ} (Mpa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,30832496	
Δσ _{p,cc+cs+r}	283,8176061	280,2564122	269,7679835	257,1641448	242,5301831	236,043495	
Δσ _{p,cc+cs+r/}	20,35994305	20,1044772	19,35207916	18,44793005	17,398148	16,9331671	

(conclusão)

Método Alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,00035215	0,00035215	0,00035215	0,00035215	0,00035215	0,00035215	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	2,7215	
$\sigma_{c,p0g}$ (Mpa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (Mpa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,845983333	7,845983333	7,845983333	7,845983333	7,845983333	7,845983333	
ρ_{ps}	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	66,65758225	65,13591913	63,57303569	62,29191242	61,06140354	60,5629224	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	124,665295	120,1414749	118,2413933	123,0796973	142,9848609	157,887129	
σ_{pi} (Mpa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (Mpa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,27215	0,27215	0,27215	0,27215	0,27215	0,27215	
σ_{p0} (Mpa)	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,3356059	
$\Delta\sigma_{pr}$ (Mpa)	17,2379095	18,34814909	24,06765891	30,80580743	40,53205791	46,0244963	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	208,5607868	203,6255432	205,8820879	216,1774171	244,5783223	264,474547	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	14,96131899	14,6072843	14,76915982	15,50770568	17,54507334	18,9723492	16,1
Método do vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	75	U<90%					
ϵ_{2s}	0,8500035						
E_C	30000						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,00035215						
$0,8(1-f_{ci}/f_{c\infty})$	0,498395722						
ϕ_{1c}	3,3976875						
ϕ_{2c}	0,674514991						
ϕ_{∞}	2,7215						
n	6,666666667						
ϵ_{1s}	-						
	0,000477092						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (Mpa)	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	
P_o	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
η	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	203,2422984	203,3370301	203,6519349	204,0986618	204,7136059	205,020378	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$	231,5080787	231,5290187	231,5986267	231,6973734	231,8333037	231,901114	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}/\sigma_{p0}$	16,60746619	16,60896834	16,61396175	16,62104544	16,63079653	16,6356609	16,6

Fonte: Autor

Tabela 14B- Umidade de 75 % com um tempo de protensão de 7 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	Mpa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	9						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,41	4479,41	4479,41	4479,4099	4479,41	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581	93,37916	72,17739	55,11347767	49,33561	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (Mpa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,000353	-0,00035	-0,00035	-0,00035	-0,000353	-0,00035	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,215	2,215	2,215	2,215	2,215	2,215	
η	1	1,085908	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133	
ρ_p	0,005737705	0,005738	0,005738	0,005738	0,005737705	0,005738	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-240,651182	-237,796	-233,843	-233,289	-242,7413789	-251,217	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	17,26335593	17,05855	16,775	16,73525	17,41329835	18,02132	
Método Aproximado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	16,65022002	16,56006	16,61416	17,01987	18,30011306	19,22874	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por BASTOS (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000353	0,000353	0,000353	0,000353	0,000353	0,000353	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616	291,1616	291,1616	291,1616435	291,1616	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,pQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559	0,583577	0,451076	0,344434018	0,308325	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}$	284,8317759	281,5293	271,7546	259,9173	246,0569121	239,8798	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}$	20,43269555	20,19579	19,49459	18,64543	17,65114147	17,20802	
18,9							

(conclusã)

Método simplificado Alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000353	0,000353	0,000353	0,000353	0,000353	0,000353	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\alpha_{ep,k}$	7,719666667	7,719667	7,719667	7,719667	7,719666667	7,719667	
ρ_{ps}	0,007213115	0,007213	0,007213	0,007213	0,007213115	0,007213	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	66,87614615	65,37225	63,82653	62,55865	61,34015373	60,84635	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	111,4084604	107,4031	105,7423	110,1014	127,9437444	141,2945	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pi}$ (MPa)	291,1616435	291,1616	291,1616	291,1616	291,1616435	291,1616	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,243	0,243	0,243	0,243	0,243	0,243	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581	93,37916	72,17739	55,11347767	49,33561	
$\Delta\sigma_{pi}$ (MPa)	12,22325636	13,34488	18,51409	24,4173	32,60341218	37,13168	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	190,5078629	186,1202	188,0829	197,0774	221,8873103	239,2725	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	13,66627424	13,35152	13,49232	14,13755	15,91731064	17,16446	14,6
método do Vasconcelos(1980)							
E_p	200000						
E_p	75						
γ	0,278538813						
	30000						
E_c	0,000353						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,447401485						
$0,8(1-f_{cj}/f_{c\infty})$	3,3976875						
ϕ_{1c}	0,674514991						
ϕ_{2c}	2,43						
ϕ_{∞}	6,666666667						
n	-0,00047709						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pi}$ (MPa)	29,11616435	29,11616	29,11616	29,11616	29,11616435	29,11616	
P_o	4479,4099	4479,41	4479,41	4479,41	4479,4099	4479,41	
η	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797482	1,006766	1,301966	1,70511308	1,904851	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	189,1261178	189,2054	189,4689	189,8425	190,3566176	190,613	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$	217,5544644	217,5741	217,6393	217,7318	217,8590884	217,9226	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}/\sigma_{p0}$	15,60648956	15,6079	15,61258	15,61921	15,62834206	15,63289	15,6

Fonte: Autor

Tabela 15B-Umidade de 75 % com um tempo de protensão de 30 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	Mpa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	9						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,000326075	-0,000326075	-0,000326075	-0,000326075	-0,000326075	-0,000326075	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,161	2,161	2,161	2,161	2,161	2,161	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,0805	2,0805	2,0805	2,0805	2,0805	2,0805	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-225,8569554	-223,3175163	-219,8161774	-219,3610452	-227,8975594	-235,5449728	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	16,20207714	16,01990791	15,76873583	15,73608646	16,34846193	16,89705687	16,1
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,161	2,161	2,161	2,161	2,161	2,161	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	15,55894397	15,4794221	15,52713522	15,88498364	17,01419421	17,83326948	16,2
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000326075	0,000326075	0,000326075	0,000326075	0,000326075	0,000326075	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	2,161	2,161	2,161	2,161	2,161	2,161	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,pQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}$	280,7533655	277,7343202	268,7631046	257,8294352	244,9340147	239,1555079	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}/$	20,14012665	19,92355238	19,27999316	18,49565533	17,57058929	17,15606226	18,7

(conclusão)

Método simplificado Alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000326075	0,000326075	0,000326075	0,000326075	0,000326075	0,000326075	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	2,161	2,161	2,161	2,161	2,161	2,161	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,6031	7,6031	7,6031	7,6031	7,6031	7,6031	
ρ_{ps}	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	61,82442297	60,45359139	59,04371072	57,88655668	56,77388723	56,32279906	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	99,15456225	95,62052807	94,17309648	98,08194963	114,0062139	125,9159514	
σ_{pl} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pl})$	0,2161	0,2161	0,2161	0,2161	0,2161	0,2161	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	7,130402151	8,258472441	12,93091591	18,10726066	24,99555733	28,72036953	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	168,1093874	164,3325919	166,1477231	174,075767	195,7756585	210,95912	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	12,05949694	11,7885647	11,91877497	12,48750122	14,04416488	15,13336586	12,9
Método de Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	75	U<90%					
h_{fic}	0,8500035						
EC	30000						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000326075						
$0,8(1-f_c/f_{c\infty})$	0,248706133						
ϕ_{1c}	3,3976875						
ϕ_{2c}	0,674514991						
ϕ_{∞}	2,161						
n	6,666666667						
ϵ_{1s}	-0,000477092						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	
P_o	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
η	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	170,5706024	170,6367583	170,8565909	171,1682337	171,5968177	171,8104451	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}$	199,1360227	199,154439	199,2156354	199,3023898	199,4216979	199,4811669	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}/\sigma_{p0}$	14,28522401	14,28654512	14,29093511	14,29715852	14,30571721	14,30998328	14,2

Fonte: Autor

Tabela 16B- Umidade de 75 % com um tempo de protensão de 60 dias

(continua)

Dados							Perdas progressivas (%)
F_{ck}	30	Mpa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	9						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cpo}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118 :2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,000312	-0,000312	-0,000312	-0,000312	-0,000312	-0,000312	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	
Π	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-212,7333658	-210,5021288	-207,3990368	-206,943293	-214,369449	-221,0673167	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	15,26064317	15,10058313	14,87797969	14,84528644	15,37800926	15,85848757	
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	14,4291409	14,36063075	14,40173684	14,71003249	15,68287655	16,38853105	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000312	0,000312	0,000312	0,000312	0,000312	0,000312	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,PQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+t}$	278,998423	276,2565051	268,0662034	258,0037842	246,0323381	240,6337979	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+t}/$	20,01423408	19,81753982	19,23000024	18,50816243	17,64937863	17,26210889	
						18,7	

(conclusão)

Método Alternativo Adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000312	0,000312	0,000312	0,000312	0,000312	0,000312	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,481333333	7,481333333	7,481333333	7,481333333	7,481333333	7,481333333	
ρ_{ps}	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	0,007213115	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	59,2050742	57,91183346	56,58084419	55,48775005	54,43609073	54,00957264	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	86,33314281	83,28414613	82,05189601	85,4819616	99,3877395	109,7825348	
σ_{pl} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pl})$	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	3,300354478	4,387513215	8,50767338	12,93295684	18,55754628	21,51782227	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	148,8385715	145,5834928	147,1404136	153,9026685	172,3813765	185,3099297	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	10,67708547	10,44357911	10,5552664	11,04036359	12,3659524	13,29339524	11,4
método do Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	75	U<90%					
h _{fic}	0,8500035						
EC	30000						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000312						
$0,8(1-f_c/f_{c\infty})$	0,172128812						
ϕ_{1c}	3,3976875						
ϕ_{2c}	0,674514991						
ϕ_{∞}	1,88						
n	6,666666667						
ϵ_{1s}	-0,000477092						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	29,11616435	
P_o	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
η	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	154,0108179	154,0644295	154,2425454	154,4949625	154,841931	155,0148057	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}$	182,7061774	182,7233324	182,7803269	182,8610969	182,972122	183,0274394	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}/\sigma_{p0}$	13,10661244	13,10784307	13,11193163	13,11772574	13,12569024	13,12965849	13,1

Fonte: Autor

(conclusão)

Método alternativo adaptado por bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000174	0,000174	0,000174	0,000174	0,000174	0,000174	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,524666667	7,524666667	7,524666667	7,524666667	7,524666667	7,524666667	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	32,5889885	31,71027432	30,81546568	30,08773141	29,39357631	29,11370823	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	89,74333178	86,12073123	84,39187187	87,53454824	101,347024	111,7564828	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cpo}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	-1,180274001	-0,005668208	4,559202669	9,491972265	15,79606694	19,11862282	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	121,1520463	117,8253373	119,7665402	127,1142519	146,5366672	159,9888138	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	8,690964582	8,452319752	8,591573904	9,118669435	10,51195604	11,47695939	9,5
Método de vasconcelos (1980)							
ϵ_{cs}	200000						
E_p	55	U<90%					
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	0,8500035						
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	30000						
E_c (MPa)	0,000174						
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	0,498395722						
ρ_{ps}	3,39727						
e_s	0,674514991						
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	1,98						
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	6,666666667						
σ_{pi} (MPa)	-0,000477104						
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	2	3	4	5	6	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
σ_{cpo}	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	130,8198877	130,8372122	130,8924379	130,9701299	131,0763566	131,133341	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$	132,9858917	132,9993443	133,0118787	133,0212577	133,029494	133,0533154	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}/\sigma_{p0}$	9,539877454	9,540842486	9,541741659	9,542414467	9,543005311	9,544714159	9,5

Fonte: Autor

Tabela 18B-Umidade de 90 % com um tempo de protensão de 7 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ε_{cs}	-0,0001734	-0,0001734	-0,0001734	-0,0001734	-0,0001734	-0,0001734	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	1,975	1,975	1,975	1,975	1,975	1,975	
Γ	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-191,0585789	-188,8894949	-186,1371461	-186,2913995	-194,7805299	-202,0868467	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	13,70578041	13,55017897	13,35273645	13,36380197	13,97277833	14,49690436	13,7
Método aproximado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	14,70954567	14,63830254	14,68104842	15,00164253	16,01329505	16,74709934	15,3
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ε_{cs}	0,0001734	0,0001734	0,0001734	0,0001734	0,0001734	0,0001734	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,PQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}$	253,5008609	250,8829685	243,1175803	233,6644426	222,5049507	217,4952648	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I/}$	18,18514067	17,99734351	17,44028553	16,76215514	15,9616177	15,60224281	17,0

(conclusão)

Método Alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,0001734	0,0001734	0,0001734	0,0001734	0,0001734	0,0001734	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,511666667	7,511666667	7,511666667	7,511666667	7,511666667	7,511666667	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	32,4801779	31,60577656	30,71528133	29,99099674	29,30008337	29,02150882	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	88,39328691	84,82888356	83,12965125	86,2284396	99,83825986	110,094282	
σ_{pl} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pl})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	-1,484981862	-0,297319738	4,274640209	9,19896354	15,46140711	18,7521852	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	119,3884829	116,1373404	118,1195728	125,4183999	144,5997503	157,867976	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	8,564453583	8,331229582	8,473427029	8,997015774	10,37300935	11,32481894	9,3
Método de Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	55	U<90%					
h _{fic}	0,8500035						
EC	30000						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,0001734						
$0,8(1-f_c/f_{c\infty})$	0,447401485						
ϕ_{1c}	3,39727						
ϕ_{2c}	0,674514991						
ϕ_{∞}	1,95						
n	6,666666667						
ϵ_{1s}	-0,000477104						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
P_o	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
η	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	129,2436434	129,2605763	129,3145533	129,3904879	129,4943101	129,5500039	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}$	131,4138569	131,427306	131,43983	131,4491941	131,4574102	131,4812199	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}/\sigma_{p0}$	9,427105949	9,428070735	9,428969151	9,429640899	9,43023029	9,4319383	9,43

Fonte: Autor

Tabela 19B- Umidade de 90 % com um tempo de protensão de 30 dias

(continua)

Dados							Perdas progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ϵ_{cs}	-0,000166	-0,000166	-0,000166	-0,000166	-0,000166	-0,000166	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	
Π	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-175,4469975	-173,6544069	-171,3271185	-171,3413263	-178,1657746	-184,112284	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	12,58586782	12,45727453	12,29032414	12,29134335	12,78090205	13,20748092	
Método Aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	13,23601545	13,17913421	13,21326295	13,46922854	14,27694218	14,86281898	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,PQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	252,9454697	250,6630833	243,8360998	235,4205212	225,3550199	220,7943122	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	18,14529912	17,98156982	17,49182925	16,88812921	16,16607029	15,83890331	
						17,1	

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,351333333	7,351333333	7,351333333	7,351333333	7,351333333	7,351333333	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	31,1362135	30,3143295	29,4764068	28,79420281	28,14286246	27,8800864	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	71,71832889	68,86344313	67,52109604	70,06936269	81,16333719	89,5163513	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cpo}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	-5,248553644	-3,901726998	0,755755465	5,573881846	11,31911191	14,21571278	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	97,60598875	95,27604563	97,7532583	104,4374473	120,6253116	131,6121505	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	7,001864329	6,834723503	7,01242886	7,491925921	8,653178734	9,441330737	7,7
Método de vasconcelos (1980)							
ϵ_{cs}	200000						
E_p	55	U<90%					
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	0,8500035						
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	30000						
E_c (MPa)	0,000166						
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	0,248706133						
ρ_{ps}	3,39727						
e_s	0,674514991						
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	1,58						
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	6,666666667						
σ_{pi} (MPa)	-0,000477104						
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	2	3	4	5	6	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
σ_{cpo}	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	109,8068356	109,8192657	109,8588863	109,9146172	109,9908021	110,0316639	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$	112,025428	112,0388349	112,0512289	112,0604107	112,0683773	112,092043	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}/\sigma_{p0}$	8,036257387	8,037219145	8,038108241	8,038766909	8,0393384	8,041036081	8,0

Fonte: Autor

Tabela 20B- Umidade de 90 % com um tempo de protensão de 60 dias

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	
σ_{p0} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
ε_{cs}	-0,000166	-0,000166	-0,000166	-0,000166	-0,000166	-0,000166	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	
Γ	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-156,6171244	-155,2896251	-153,4259177	-153,1225257	-157,5486037	-161,5823371	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	11,23508784	11,13985833	11,00616339	10,98439926	11,30190845	11,59127239	11,2
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	11,3613528	11,32274313	11,34590893	11,51965248	12,06790988	12,46558955	11,7
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	
$\phi(t,t_0)$	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
α_p	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,t_0)$	35	35	35	35	35	35	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
α_p	0	13	27	39	51	56	
$\phi(t,t_0)$	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	254,0016763	252,1542752	246,5490718	239,4971537	230,8906084	226,9367639	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	18,22106716	18,08854198	17,68644704	17,18057057	16,56317134	16,2795383	17,3

(conclusão)

Método Alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	0,000166	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,143333333	7,143333333	7,143333333	7,143333333	7,143333333	7,143333333	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	31,1910733	30,38906436	29,57024427	28,90272597	28,26467948	28,00706523	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	50,0184561	48,06109857	47,15800803	48,96632511	56,75070885	62,60535143	
σ_{pi} (MPa)	1394	1394	1394	1394	1394	1394	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	291,1616435	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	0,20886775	
σ_{cpo}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	-9,769498804	-8,2310562	-3,477837288	1,188804857	6,245544801	8,621394572	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	71,4400306	70,21910673	73,25041501	79,05785594	91,26093313	99,23381122	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	5,124822855	5,037238646	5,254692612	5,671295261	6,546695347	7,118637821	5,8
Método de Vasconcelos (1980)							
ϵ_{cs}	200000						
E_p	55	U<90%					
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	0,8500035						
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	30000						
E_c (MPa)	0,000166						
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	0,172128812						
ρ_{ps}	3,39727						
e_s	0,674514991						
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	1,1						
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	6,666666667						
σ_{pi} (MPa)	-0,000477104						
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	2	3	4	5	6	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	2,349285714	2,362285714	2,373428571	2,380857143	2,386428571	2,408714286	
σ_{cpo}	1265	1272	1278	1282	1285	1297	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}$	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+r}/\sigma_{p0}$	0,207377049	0,226457705	0,287235738	0,372620656	0,489142623	0,551543934	
σ_{p0}	1406	1406	1406	1406	1406	1406	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	86,52126738	86,52875722	86,55262879	86,58620124	86,63208469	86,65668921	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$	88,79287175	88,80622392	88,81844954	88,82739516	88,83503857	88,85851786	
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}/\sigma_{p0}$	6,369646467	6,370604298	6,371481316	6,372123039	6,372671347	6,374355657	6,4

Fonte: Autor

ANEXO C- Tabelas de cálculos para cada método de perda progressivas, considerando tensões variando de 0,5 f_{ptk} a 0,8 f_{ptk} , coeficiente relaxação de ψ_{1000} para aços de relaxação baixa (RB) e Relaxação normal (RN).

Tabela 1C - Cálculo das perdas progressivas para tensão 0,5 f_{ptk} e aço de protensão tipo RB.

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
Ψ_{1000}	0		Ψ_{∞}	0			
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0	0	0	0	0	0	
σ_{p0} (Mpa)	950	950	950	950	950	950	
ϵ_{cs}	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	
Γ	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-213,4676176	-210,1536548	-206,3372375	-207,4057594	-221,8275958	-233,7246263	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	22,47027554	22,12143734	21,71970921	21,8321852	23,35027324	24,60259224	
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	19,85987641	19,73843512	19,8112999	20,3577857	22,08225203	23,33309732	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	0	0	0	0	0	0	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,pQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}$	99,6401338	97,48554003	91,64760295	85,42276125	78,94037346	76,25046954	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+I}$	10,48843514	10,26163579	9,6471161	8,991869605	8,309512996	8,026365214	
						9,3	

(conclusão)

Método Alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	6,666666667	6,666666667	6,666666667	6,666666667	6,666666667	6,666666667	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	90,74536082	88,55537276	86,31214229	84,4779058	82,7200065	82,00895527	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	146,554701	141,0479047	138,6269905	144,1375728	167,268108	184,6207425	
σ_{pi} (Mpa)	950	950	950	950	950	950	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	0	0	0	0	0	0	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0	0	0	0	0	0	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	0	0	0	0	0	0	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	237,3000619	229,6032775	224,9391327	228,6154786	249,9881145	266,6296977	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	24,97895388	24,16876605	23,67780345	24,06478722	26,31453836	28,06628397	25,2
Método de vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	30	U<90%					
E_c	30672						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000481						
$0,8(1-f_{cj}/f_{c\infty})$	0,144						
ϕ_{1c}	2,5						
ϕ_{2c}	1,37						
ϕ_{∞}	3,969						
n	6,520605112						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (Mpa)	0	0	0	0	0	0	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
η	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	950	950	950	950	950	950	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	286,9604036	287,2112841	288,0474281	289,2393536	290,8912617	291,7202116	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}$	284,0908451	284,0908451	284,0908451	284,0908451	284,0908451	284,0908451	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}/\sigma_{p0}$	29,90429948	29,90429948	29,90429948	29,90429948	29,90429948	29,90429948	29,9

Fonte: Autor

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	6,666666667	6,666666667	6,666666667	6,666666667	6,666666667	6,666666667	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	90,74536082	88,55537276	86,31214229	84,4779058	82,7200065	82,00895527	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	146,554701	141,0479047	138,6269905	144,1375728	167,268108	184,6207425	
σ_{pi} (Mpa)	990	990	990	990	990	990	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	0	0	0	0	0	0	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0	0	0	0	0	0	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	0	0	0	0	0	0	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	237,3000619	229,6032775	224,9391327	228,6154786	249,9881145	266,6296977	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	23,96970322	23,19225025	22,72112452	23,09247259	25,25132469	26,9322927	24,2
Método do Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	30	U<90%					
E_c	30672						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000481						
$0,8(1-f_{cf}/f_{c\infty})$	0,144						
ϕ_{1c}	2,5						
ϕ_{2c}	1,37						
ϕ_{∞}	3,969						
n	6,520605112						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (Mpa)	0	0	0	0	0	0	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
η	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	990	990	990	990	990	990	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	286,8427637	287,0831978	287,8843386	289,0258693	290,6069685	291,3999629	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}$	284,0908451	284,0908451	284,0908451	284,0908451	284,0908451	284,0908451	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}/\sigma_{p0}$	28,69604496	28,69604496	28,69604496	28,69604496	28,69604496	28,69604496	28,7

Fonte: Autor

Tabela 3C - Cálculo das perdas progressivas para tensão $0,6 f_{ptk}$ e $\psi_{1000} = 1,3\%$ e aço de protensão tipo RB.

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	Mpa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
Ψ_{1000}	1,3		Ψ_{∞}	0,00325			
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,032552927	0,032552927	0,032552927	0,032552927	0,032552927	0,032552927	
σ_{p0} (Mpa)	1140	1140	1140	1140	1140	1140	
ϵ_{cs}	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-245,3917892	-241,8495523	-237,299515	-237,386629	-250,5662919	-261,8853438	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	21,52559554	21,21487301	20,81574693	20,82338851	21,97949929	22,97239858	
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	19,85987641	19,73843512	19,8112999	20,3577857	22,08225203	23,33309732	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	145,8179044	145,8179044	145,8179044	145,8179044	145,8179044	145,8179044	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,pQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+t}$	202,5572554	199,3719222	190,2613322	179,7513572	167,9921973	162,9011022	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+t/l}$	17,7681803	17,48876511	16,68959054	15,76766291	14,73615765	14,28957036	

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,363299309	7,363299309	7,363299309	7,363299309	7,363299309	7,363299309	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	90,21086431	87,82608347	85,39496252	83,41578611	81,52627328	80,76400438	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	145,6914836	139,8863182	137,1538968	142,3253669	164,8542603	181,8180759	
σ_{pi} (Mpa)	1140	1140	1140	1140	1140	1140	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	145,8179044	145,8179044	145,8179044	145,8179044	145,8179044	145,8179044	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,127910442	0,127910442	0,127910442	0,127910442	0,127910442	0,127910442	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	13,80399363	14,05150679	16,5221536	19,64240913	24,46505374	27,27645088	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	249,7063415	241,7639085	239,0710129	245,3835622	270,8455873	289,8585312	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	21,90406505	21,20736039	20,97114148	21,52487388	23,75838485	25,42618694	22,4
Método de Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	30	U<90%					
E_c	30672						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000481						
$0,8(1-f_{cf}/f_{c\infty})$	0,144						
ϕ_{1c}	2,5						
ϕ_{2c}	1,37						
ϕ^∞	3,969						
n	6,520605112						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (Mpa)	4,16622584	4,16622584	4,16622584	4,16622584	4,16622584	4,16622584	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
Γ	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	1140	1140	1140	1140	1140	1140	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	286,4760724	286,6840331	287,3764662	288,3617639	289,7238792	290,4059129	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}$	288,3099601	288,3145714	288,3299251	288,3517728	288,3819758	288,397099	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}/\sigma_{p0}$	25,29034738	25,29075187	25,2920987	25,29401516	25,29666455	25,29799114	25,2

Fonte: Autor

Tabela 4C- Cálculo das perdas progressivas para tensão $0,6 f_{ptk}$ e $\psi_{1000} = 3,5\%$ e aço de protensão tipo RN.

(continua)

Dados							Perdas progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
Ψ_{1000}	3,5		Ψ_{∞}	0,00875			
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t, t_0)$	0,08788506	0,08788506	0,08788506	0,08788506	0,08788506	0,08788506	
σ_{p0} (Mpa)	1140	1140	1140	1140	1140	1140	
ε_{cs}	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t, t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)$	-299,6551893	-295,7249414	-289,9279268	-288,3468839	-299,4151511	-309,7517786	
$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)/\sigma_{p0}$	26,28554292	25,94078433	25,43227428	25,2935863	26,26448694	27,17120865	
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RN) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t, t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)$	26,98198426	26,89541522	26,94735665	27,33691736	28,56619783	29,45785902	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ε_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t, t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)$	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,pQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	377,4915658	372,554224	357,8809125	340,0872434	319,358842	310,1863005	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	33,11329525	32,68019509	31,3930625	29,83221433	28,01393351	27,2093246	

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	8,547406958	8,547406958	8,547406958	8,547406958	8,547406958	8,547406958	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	89,31665281	86,61364804	83,8799093	81,67043598	79,57437438	78,73243349	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	144,2473227	137,9551934	134,7205512	139,3474223	160,9073259	177,2445494	
σ_{pi} (Mpa)	1140	1140	1140	1140	1140	1140	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,345327377	0,345327377	0,345327377	0,345327377	0,345327377	0,345327377	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	36,45995295	36,85012544	43,24234375	51,39868911	64,01272201	71,3589246	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	270,0239285	261,4189669	261,8428043	272,4165473	304,4944223	327,3359075	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	23,68630952	22,93148832	22,96866704	23,89618836	26,71003704	28,7136761	24,8
Método do Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	30	U<90%					
E_c	30672						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000481						
$0,8(1-f_{cf}/f_{c\infty})$	0,144						
ϕ_{1c}	2,5						
ϕ_{2c}	1,37						
ϕ^∞	3,969						
n	6,520605112						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (Mpa)	11,24780598	11,24780598	11,24780598	11,24780598	11,24780598	11,24780598	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
Γ	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	1140	1140	1140	1140	1140	1140	
$\Delta\sigma_{p,c+s}$	286,4760724	286,6840331	287,3764662	288,3617639	289,7238792	290,4059129	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}$	295,4814391	295,4938884	295,5353399	295,5943233	295,6758643	295,7166932	
$\Delta\sigma_{p,c+s+tr}/\sigma_{p0}$	25,91942449	25,92051653	25,92415262	25,9293266	25,93647932	25,94006081	25,9

Fonte: Autor

Tabela 5C – Cálculo das perdas progressivas para tensão $0,7 f_{ptk}$ e $\psi_{1000} = 2,5\%$ e aço de protensão tipo RB.

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	MPa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
Ψ_{1000}	2,5		Ψ_{∞}	0,0625			
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método Simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,0645	0,0645	0,0645	0,0645	0,0645	0,0645	
σ_{p0} (Mpa)	1330	1330	1330	1330	1330	1330	
ϵ_{cs}	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
χ_p	1,0645	1,0645	1,0645	1,0645	1,0645	1,0645	
χ_c	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-287,3877862	-283,5436149	-278,0262425	-276,8219595	-288,372202	-298,9349276	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	21,60810423	21,31906879	20,90422876	20,81368116	21,68212045	22,47631035	
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	19,85987641	19,73843512	19,8112999	20,3577857	22,08225203	23,33309732	
						20,9	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	288,9219386	288,9219386	288,9219386	288,9219386	288,9219386	288,9219386	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,pQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	303,5589489	299,3620598	287,0397253	272,3243693	255,386645	247,9390482	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	22,82398112	22,50842555	21,58193424	20,47551649	19,20200339	18,6420337	
						20,9	

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	8,046966667	8,046966667	8,046966667	8,046966667	8,046966667	8,046966667	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	89,69240208	87,12195234	84,5136088	82,39908399	80,38778696	79,57843397	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	144,8541617	138,7648028	135,7383437	140,5906533	162,5521273	179,1490882	
σ_{pi} (Mpa)	1330	1330	1330	1330	1330	1330	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	288,9219386	288,9219386	288,9219386	288,9219386	288,9219386	288,9219386	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,21723454	0,21723454	0,21723454	0,21723454	0,21723454	0,21723454	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	23,14925637	23,46754581	27,56115311	32,76165136	40,8023896	45,48715665	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	257,6958202	249,3543009	247,8131057	255,7513886	283,7423039	304,2146789	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	19,37562558	18,74844368	18,63256434	19,22942772	21,33400781	22,87328412	20,0
Método de Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	30	U<90%					
E_c	30672						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000481						
$0,8(1-f_{ct}/f_{c\infty})$	0,144						
ϕ_{1c}	2,5						
ϕ_{2c}	1,37						
ϕ^∞	3,969						
n	6,520605112						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (Mpa)	8,25491253	8,25491253	8,25491253	8,25491253	8,25491253	8,25491253	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
Γ	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	1330	1330	1330	1330	1330	1330	
$\Delta\sigma_{p,cs+s}$	286,1316246	286,3092038	286,900074	287,7397835	288,898569	289,4778946	
$\Delta\sigma_{p,cs+s+tr}$	292,4354185	292,4432203	292,46918	292,5060723	292,5569831	292,5824356	
$\Delta\sigma_{p,cs+s+tr}/\sigma_{p0}$	21,98762545	21,98821206	21,99016391	21,99293777	21,99676565	21,99867937	22,0

Fonte: Autor

Tabela 6C- Cálculo das perdas progressivas para tensão $0,7 f_{ptk}$ e $\psi_{1000} = 7\%$ e aço de protensão tipo RN.

(continua)

Dados							Perdas progressivas (%)
F_{ck}	30	Mpa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
Ψ_{1000}	7		Ψ_{∞}	0,0175			
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,017654935	0,017654935	0,017654935	0,017654935	0,017654935	0,017654935	
σ_{p0} (Mpa)	1330	1330	1330	1330	1330	1330	
ϵ_{cs}	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-233,667205	-230,208805	-225,9282	-226,375749	-240,0116171	-251,542939	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	17,56896282	17,30893273	16,9870827	17,02073302	18,04598625	18,91300297	
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RN) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	26,98198426	26,89541522	26,94735665	27,33691736	28,56619783	29,45785902	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (1980)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	79,08369169	79,08369169	79,08369169	79,08369169	79,08369169	79,08369169	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,pQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	155,4567768	152,7431661	145,1303203	136,5814556	127,2372339	123,2450546	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	11,68847946	11,48444858	10,91205416	10,26928238	9,566709315	9,26654546	
						10,5	

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,044482281	7,044482281	7,044482281	7,044482281	7,044482281	7,044482281	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	90,4546955	88,15834959	85,81228302	83,89853623	82,06828637	81,32903797	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	146,0852735	140,4155401	137,8241603	143,149043	165,9502648	183,0900945	
σ_{pi} (Mpa)	1330	1330	1330	1330	1330	1330	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	79,08369169	79,08369169	79,08369169	79,08369169	79,08369169	79,08369169	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,059461422	0,059461422	0,059461422	0,059461422	0,059461422	0,059461422	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	6,454943455	6,583315752	7,745283433	9,208801848	11,47041004	12,78917241	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	242,9949125	235,1572054	231,3817268	236,2563811	259,4889612	277,2083049	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	18,27029417	17,68099289	17,39712232	17,76363768	19,51044821	20,84272969	18,6
Método do Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	30	U<90%					
E_c	30672						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000481						
$0,8(1-f_{cf}/f_{c\infty})$	0,144						
ϕ_{1c}	2,5						
ϕ_{2c}	1,37						
ϕ^∞	3,969						
n	6,520605112						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (Mpa)	2,259534048	2,259534048	2,259534048	2,259534048	2,259534048	2,259534048	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
Γ	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	1330	1330	1330	1330	1330	1330	
$\Delta\sigma_{p,cs+s}$	286,1316246	286,3092038	286,900074	287,7397835	288,898569	289,4778946	
$\Delta\sigma_{p,cs+s+tr}$	286,3749211	286,3770566	286,3841623	286,3942605	286,4081958	286,4151626	
$\Delta\sigma_{p,cs+s+tr}/\sigma_{p0}$	21,53194895	21,53210952	21,53264378	21,53340304	21,53445081	21,53497463	21,5

Fonte: Autor

Tabela 7C – Cálculo das perdas progressivas para tensão $0,8 f_{ptk}$ e $\psi_{1000} = 3,5\%$ e aço de protensão tipo RB.

(continua)

Dados							Perdas Progressivas (%)
F_{ck}	30	Mpa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
Ψ_{1000}	3,5		Ψ_{∞}	0,00875			
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,08788506	0,08788506	0,08788506	0,08788506	0,08788506	0,08788506	
σ_{p0} (Mpa)	1520	1520	1520	1520	1520	1520	
ϵ_{cs}	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-328,3843799	-324,2487036	-317,7914898	-315,3272587	-325,2776695	-335,0941626	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	21,60423552	21,33215155	20,90733486	20,74521439	21,39984668	22,04566859	
Método aproximado da NBR 6118 :2014							
para aços de relaxação baixa (RB) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	19,85987641	19,73843512	19,8112999	20,3577857	22,08225203	23,33309732	
Método simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	
A_p	35	35	35	35	35	35	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
I_c	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
e_p	0	13	27	39	51	56	
$\sigma_{c,PQ}$ (MPa)	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	377,4915658	372,554224	357,8809125	340,0872434	319,358842	310,1863005	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	24,83497144	24,51014632	23,54479687	22,37416075	21,01045013	20,40699345	

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	8,547406958	8,547406958	8,547406958	8,547406958	8,547406958	8,547406958	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	89,31665281	86,61364804	83,8799093	81,67043598	79,57437438	78,73243349	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	144,2473227	137,9551934	134,7205512	139,3474223	160,9073259	177,2445494	
σ_{pi} (MPa)	1520	1520	1520	1520	1520	1520	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	393,6732093	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,258995532	0,258995532	0,258995532	0,258995532	0,258995532	0,258995532	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	27,34496472	27,63759408	32,43175782	38,54901683	48,00954151	53,51919345	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	260,9089403	252,2064355	251,0322183	259,5668751	288,4912418	309,4961764	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	17,16506186	16,59252865	16,51527752	17,0767681	18,97968696	20,36159055	17,8
Método de Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	30	U<90%					
E_c	30672						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000481						
$0,8(1-f_{ct}/f_{c\infty})$	0,144						
ϕ_{1c}	2,5						
ϕ_{2c}	1,37						
ϕ^∞	3,969						
n	6,520605112						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	11,24780598	11,24780598	11,24780598	11,24780598	11,24780598	11,24780598	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
Γ	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	1520	1520	1520	1520	1520	1520	
$\Delta\sigma_{p,cs}$	285,8741061	286,0290485	286,544335	287,2759342	288,2841911	288,7876805	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}$	295,4454033	295,4546787	295,4855256	295,5293217	295,5896795	295,6198201	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}/\sigma_{p0}$	19,43719759	19,43780781	19,43983721	19,44271853	19,44668944	19,44867238	19,4

Fonte: Autor

Tabela 8C- Cálculo das perdas progressivas para tensão 0,8 f_{ptk} e $\psi_{1000} = 12\%$ e aço de protensão tipo RN.

(continua)

Dados							Perdas progressivas (%)
F_{ck}	30	Mpa					
A_c	0,61	m ²		6100	cm ²		
I_c	0,12	m ⁴					
Ψ_{1000}	12		Ψ_{∞}	0,03			
A_s	20						
A_p	35	cm ²					
f_{ptk}	190						
ρ_p	0,00574						
e_p	0	0,13	0,27	0,39	0,51	0,56	
P_i (kN)	4879	4879	4879	4879	4879	4879	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
Método simplificado da NBR 6118:2014							
seção	1	2	3	4	5	6	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\chi(t,t_0)$	0,030459207	0,030459207	0,030459207	0,030459207	0,030459207	0,030459207	
σ_{p0} (Mpa)	1520	1520	1520	1520	1520	1520	
ϵ_{cs}	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	-0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
χ_p	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	
χ_c	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	2,605	
η	1	1,085908333	1,370575	1,773175	2,322175	2,594133333	
ρ_p	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	0,005737705	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	-253,2954733	-249,696721	-244,9650565	-244,8091966	-257,6813262	-268,857284	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)/\sigma_{p0}$	16,66417588	16,42741586	16,11612213	16,1058682	16,95271883	17,68797921	
Método aproximado da NBR 6118:2014							
para aços de relaxação baixa (RN) (valor em porcentagem):							
seção	1	2	3	4	5	6	
α_p	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	26,98198426	26,89541522	26,94735665	27,33691736	28,56619783	29,45785902	
Método Simplificado do Eurocode 2 adaptado por Bastos (2019)							
ϵ_{cs}	1	2	3	4	5	6	
E_p	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
α_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
A_p	136,4392756	136,4392756	136,4392756	136,4392756	136,4392756	136,4392756	
A_c	35	35	35	35	35	35	
I_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
e_p	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	12000000	
$\sigma_{c,PQ}$ (MPa)	0	13	27	39	51	56	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr}$	0,799836066	0,736559469	0,583577014	0,45107565	0,344434018	0,308324964	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr/l}$	195,9378935	192,8188548	183,9187533	173,6843869	162,2646153	157,3279585	
$\Delta\sigma_{p,cc+cs+tr/l}$	12,89065089	12,68545097	12,09991798	11,4266044	10,67530364	10,35052359	

(conclusão)

Método alternativo adaptado por Bastos (2019)							
seção	1	2	3	4	5	6	
ϵ_{cs}	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	0,000481	
E_p	200000	200000	200000	200000	200000	200000	
$\phi(t,t_0)$	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	
$\sigma_{c,p0g}$ (MPa)	7,26	7,16	7,22	7,67	9,09	10,12	
E_c (MPa)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
$\bar{\alpha}_{ep,k}$	7,318493707	7,318493707	7,318493707	7,318493707	7,318493707	7,318493707	
ρ_{ps}	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	0,009016393	
e_s	66	66	66	66	66	66	
$\Delta\epsilon_{p,cs}$	90,2450522	87,87262783	85,45336621	83,4832946	81,60201342	80,84293791	
$\Delta\epsilon_{p,cc}$	145,7466974	139,9604525	137,2476996	142,440551	165,0074144	181,9957732	
σ_{pi} (Mpa)	1520	1520	1520	1520	1520	1520	
$\Delta\sigma_{pr}(t,t_0)$	136,4392756	136,4392756	136,4392756	136,4392756	136,4392756	136,4392756	
$\phi(t,\sigma_{pi})$	0,089762681	0,089762681	0,089762681	0,089762681	0,089762681	0,089762681	
σ_{cp0}	127,98314	117,8581433	93,37915838	72,17738802	55,11347767	49,33560598	
$\Delta\sigma_{pr}$ (MPa)	9,6951424	9,871645214	11,60828116	13,80069427	17,18918994	19,16461118	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}$	245,686892	237,7047255	234,309347	239,7245399	263,7986177	282,0033223	
$\Delta\sigma_{p,cs+cc+tr}/\sigma_{p0}$	16,16361132	15,63846878	15,41508862	15,77135131	17,35517222	18,55285015	16,5
Método de Vasconcelos (1980)							
E_p	200000						
γ	30	U<90%					
E_c	30672						
$\epsilon_{cs,\infty}$	0,000481						
$0,8(1-f_{cf}/f_{c\infty})$	0,144						
ϕ_{1c}	2,5						
ϕ_{2c}	1,37						
ϕ^∞	3,969						
n	6,520605112						
seção	1	2	3	4	5	6	
$\Delta\sigma_{pr}$ (Mpa)	3,898265016	3,898265016	3,898265016	3,898265016	3,898265016	3,898265016	
P_0	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	4479,4099	
Γ	1	1,086	1,371	1,773	2,322	2,594	
A_c	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
σ_{cp0}	0,734329492	0,797481828	1,006765733	1,301966189	1,70511308	1,904850702	
σ_{p0}	1520	1520	1520	1520	1520	1520	
$\Delta\sigma_{p,cs}$	285,8741061	286,0290485	286,544335	287,2759342	288,2841911	288,7876805	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}$	288,0261083	288,029323	288,0400139	288,0551927	288,0761115	288,0865577	
$\Delta\sigma_{p,cs+tr}/\sigma_{p0}$	18,94908607	18,94929756	18,95000091	18,95099952	18,95237576	18,953063	19,0

Fonte: Autor