UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
ESTRUTURAS E GEOTÉCNICA**

JOSÉ CARLOS DO AMARAL

***Tensões originadas pela retração em elementos de concreto com deformação
restringida considerando-se o efeito da fluência***

São Paulo
2011

JOSÉ CARLOS DO AMARAL

Tensões originadas pela retração em elementos de concreto com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência.

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração:
Engenharia de Estruturas.

Orientador:
Prof. Dr. João Carlos Della Bella.

São Paulo

2011

Autorizo a reprodução total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada sua fonte.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 07 de julho de 2011.

Autor: José Carlos do Amaral

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Della Bella.

FICHA CATALOGRÁFICA
Elaborada pela Biblioteca de Engenharia Civil (EPEC)
“Prof. Dr. Telemaco Van Langendonck”

Amaral, José Carlos do

Tensões originadas pela retração em elementos de concreto com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência / J.C. do Amaral. –ed.rev.– São Paulo, 2011. 113 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica.

1. Concreto 2. Fluência dos materiais 3. Tensão estrutural 4. Deformação estrutural I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica II. t.

Dedicatória

À Helen, João, Enelzita, Cátia, Edson, Gabriel, Pedro, Heliane, Mabel, Daniel e Alice pelas curiosidades, incentivos, cobranças e por abrirem mão de minha “presença” para conclusão desta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de pós-graduação em engenharia civil da escola politécnica da USP por dar a oportunidade e transmitir sólidos conhecimentos necessários para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Túlio Nogueira Bittencourt pelo apoio e orientações.

Ao Prof. Dr. João Carlos Della Bella por me aceitar como orientado, pelas inúmeras horas dedicadas, críticas, compreensões e apoio a este trabalho fazendo com que o mesmo pudesse ser concretizado de maneira relevante.

Ao Engº. José Zamarion Ferreira Diniz e Engº. Eduardo Barros Millen (Diretores da Empresa Zamarion e Millen Consultores S/S Ltda) pela idealização e compartilhamento inicial do tema.

À Zamarion e Millen Consultores S/S Ltda pela flexibilidade, compreensão e apoio cedidos.

Às bancas examinadoras do exame de qualificação e da defesa da dissertação pelos comentários construtivos ao trabalho realizado.

RESUMO

AMARAL, J. C. **Tensões originadas pela retração em elementos de concreto com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência.** 2011. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

As estruturas feitas com pré-moldados são geralmente compostas por uma base (peça pré-fabricada) mais concreto moldado no local, como é o caso de lajes (pré-lajes, lajes alveolares, aduelas de pontes). No concreto novo junto à interface de contato entre os elementos surgem tensões de tração devidas à restrição a deformação de retração por secagem imposta pela base. Portanto, ressalta-se a importância em conhecer tais tensões, pois, as mesmas podem provocar a fissuração do concreto. Por essa relevância, estuda-se neste trabalho o comportamento da tensão de tração resultante na estrutura composta, onde o elemento de concreto simples novo (sem armadura) está com restrição contínua na base e o mesmo sofre tensões originadas pela retração por secagem, as quais são reduzidas pelas deformações de natureza viscosa (fluência). Este estudo é feito ao longo do tempo utilizando o modelo de previsão de retração e fluência da ABNT NBR 6118:2003 variando o tipo de cimento, classe de resistência à compressão, relação água/cimento (representada pelo abatimento), umidade relativa do ar, temperatura ambiente, altura da camada do elemento de concreto e o grau de restrição da base. As tensões de tração resultantes foram determinadas por método iterativo, proposto inicialmente pelo Eng^o José Zamarion Ferreira DINIZ (Diretor da Empresa Zamarion e Millen Consultores S/S Ltda) e melhorado por esse autor, considerando-se a evolução no tempo da retração e da fluência do concreto, a partir disso foi possível determinar um modelo simplificado que permite uma estimativa rápida das referidas tensões utilizando os conceitos de “coeficiente de envelhecimento” e grau de restrição.

Palavras-chave: Concreto, retração por secagem, fluência, relaxação, tensão restringida, deformação restringida, coeficiente de envelhecimento.

ABSTRACT

AMARAL, J. C. **Stress caused by shrinkage in concrete elements with restrained strain considering creep.** 2011. Master thesis - Department of Geotechnical and Structural Engineering from the Polytechnic School, University of São Paulo. São Paulo, 2011.

Some Precast Structures usually are composed of two parts, a base (hardened concrete) and a new concrete (softened) build “in locu” to coating, for example, slabs and pre-slabs. In the new concrete next to the interface between the elements (base/new) appears tensile stress due to the restrained strain imposed for the base. Therefore, its important knows this tensile stress because can cracking the concrete. Therefore, the behavior of the resultant tensile stress in the composed structure is studied in this work, where the element of new simple concrete (without reinforced) its restrained by the continuous base and suffers stress caused by drying shrinkage, which they are reduced for the viscous strain (creep). This study it is made throughout the time having used the model of prediction shrinkage and creep of ABNT NBR 6118:2003 varying the type of cement, classroom of compressive strength, ration water/cement (represented by slump), relative humidity, ambient temperature, height of the concrete element and the degree of base restraint. The resultant tensile stress had been determined by iterative method, first proposed by Eng. José Zamarion Ferreira Diniz (Director of the Company Zamarion e Millen Consultores S/S Ltda) and improved by this writer, considering development a long the time of the shrinkage and creep of concrete, therefore, it was possible to determine a simplified model that allows to a fast estimate of the related stress using the concepts of “aging coefficient” and degree of restraint.

Keywords: Concrete, drying shrinkage, creep, relaxation, restrained stress, restrained strain, aging coefficient.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variação da idade fictícia	30
Gráfico 2: Variação da altura fictícia.	31
Gráfico 3: Variação do coeficiente ε_{1s}	32
Gráfico 4: Variação do coeficiente ε_{2s}	33
Gráfico 5: Variação da deformação de retração por secagem $\varepsilon_{cs}(t=3000, t_0=0)$	35
Gráfico 6: Variação da tensão de retração por secagem $\sigma_{cs}(t=3000, t_0=0)$	36
Gráfico 7: Variação de β_1 em função do tempo.....	49
Gráfico 8: Variação do coeficiente de fluência φ_a em função do tempo	50
Gráfico 9: Variação do coeficiente φ_{1c} em função do tempo	51
Gráfico 10: Variação do coeficiente φ_{2c} em função do tempo	51
Gráfico 11: Variação do coeficiente φ_f em função do tempo	53
Gráfico 12: Variação do coeficiente β_d em função do tempo.....	54
Gráfico 13: Variação do coeficiente φ_d em função do tempo	54
Gráfico 14: Variação das parcelas das deformações de fluência ε_{cc} em função do tempo	56
Gráfico 15: Variação da deformação de fluência total ε_{cc} em função do tempo	57
Gráfico 16: Variação da tensão de fluência σ_{cc} em função do tempo	58
Gráfico 17: Curvas de tensão ao longo do tempo das etapas do Processo iterativo	62
Gráfico 18: Avaliação das três tensões: Retração sem fluência; Retração com fluência; Resistente.	63
Gráfico 19: Tensão resultante do processo de integração numérica	70
Gráfico 20: Comparação entre processo iterativo e integração numérica.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de concreto [8]	23
Tabela 2: Fatores considerados na previsão de retração dos modelos normativos	28
Tabela 3: Valores da fluência e da retração em função da velocidade de endurecimento do cimento [6].	29
Tabela 4: Valores de ε_{1s} para determinação da retração.	32
Tabela 5: Valores de $\varepsilon_{cs}(t, t_0) \cdot [10^{-6}]$ e $\sigma_{cs}(t, t_0) \cdot [MPa]$ para o intervalo $t=3000$ e $t_0=0$. ..	37
Tabela 6: Segmento de mola e pistão lubrificado	40
Tabela 7: Variação do coeficiente de envelhecimento de Z.P.BAZANT [15]	45
Tabela 8: Fatores considerados na previsão de fluência dos modelos normativos ..	46
Tabela 9: Variação do coeficiente φ_{1c}	50
Tabela 10: Entrada de dados adotada aleatoriamente.	53
Tabela 11: Valores do coeficiente de fluência $\varphi(t, t_0)$ para $f_{ck} = 25$ MPa, $T=25^\circ C$ e intervalo $t=3000$ e $t_0=0$	55
Tabela 12: Valores da tensão de retração com fluência σ_R para $f_{ck} = 25$ MPa, $t=3000$ e $t_0=0$	63
Tabela 13: Entrada de dados.	70
Tabela 14: Coeficiente de envelhecimento χ do concreto	74
Tabela 15: Entrada de dados para verificação do modelo simplificado	77
Tabela 16: Influência da variação dos parâmetros sobre esforços de retração, resultante, coeficiente de fluência e envelhecimento.	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Peças compostas (pré-fabricado+moldado no local) e juntas de concretagem	14
Figura 2: Capa moldada no local sobre laje alveolar.....	15
Figura 3: Tensões geradas pela retração.....	15
Figura 4: Tensão e deformação restringida e não restringida em um elemento de concreto novo (Adaptado Ref.8).....	16
Figura 5: Modelo físico para elemento de concreto com deformação restringida	18
Figura 6: Deformação de fluência causada por incremento de tensão de retração por secagem	18
Figura 7: Método dos esforços no elemento com restrição variável.....	19
Figura 8: Efeito da retração por secagem ao ar em elementos de concreto	25
Figura 9: Efeito da cura e do cimento expansivo [8].....	26
Figura 10: Características do elemento de concreto.	30
Figura 11: Variação do coeficiente $\beta_s(t)$ [6].....	34
Figura 12: Fluxograma para determinação da retração por secagem.....	38
Figura 13: Ensaio de fluência	39
Figura 14: Ensaio de relaxação	40
Figura 15: Tensão e Deformação nos segmentos de mola e pistão lubrificado [8] ..	41
Figura 16: Tensão e deformação nos modelos reológicos de Maxwell, Kelvin e Sólido [8]	41
Figura 17: Deformação de fluência provocada por incremento de tensão	42
Figura 18: Deformação total no concreto para tensão constante em t_0-t (Adaptado Ref.10).	43
Figura 19: Variação de ε_{cc} em função do tempo [6].....	48
Figura 20: Variação do coeficiente $\beta_f(t)$ em função do tempo [6].....	52
Figura 21: Deformação lenta total ε_{cc} para cada instante t	57
Figura 22: Fluxograma para determinação da deformação de fluência	59
Figura 23: Etapas do Processo iterativo.....	61
Figura 24: Processo de Integração Numérica	64

Figura 25: Deformação de fluência para cada incremento de tensão ao longo do tempo.	66
Figura 26: Método dos esforços no elemento com restrição variável e módulo de elasticidade reduzido.....	72
Figura 27: Seção transversal de laje TT de 3x0,65 m com capa de 5 cm.....	76
Figura 28: Seção transversal para larguras unitária.....	77
Figura 29: Vista renderizada da modelagem no STRAP da viga TT + capa para comprimentos de 6 e 3 m.....	78
Figura 30: Tensões nos elementos finitos na direção horizontal para a laje de 6 e 3 m.	79
Figura 31: Tensões nos elementos finitos na direção horizontal para a laje de 6 e 3 m (zoom aumentado)	79
Figura 32: Tensões nos elementos finitos na direção horizontal para a laje de 3 m com o módulo de elasticidade da capa reduzido para 9,31 GPa.	80

SUMÁRIO

1 -	INTRODUÇÃO	14
2 -	OBJETIVO	17
3 -	METODOLOGIA	18
4 -	O MATERIAL CONCRETO	22
4.1	COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	22
4.2	TIPOS DE CONCRETO	23
4.3	CURA DO CONCRETO	24
5 -	O FENÔMENO DA RETRAÇÃO DO CONCRETO	25
5.1	TIPOS DE RETRAÇÃO	26
5.2	MODELOS DE PREVISÃO DE DEFORMAÇÃO DE RETRAÇÃO POR SECAGEM	27
5.3	O MODELO BRASILEIRO	28
5.3.1	IDADE E ESPESSURA FICTÍCIAS	28
5.3.2	DEFORMAÇÃO DE RETRAÇÃO POR SECAGEM DO CONCRETO	31
6 -	O FENÔMENO DA FLUÊNCIA DO CONCRETO	39
6.1	MODELOS DE PREVISÃO DE DEFORMAÇÃO DE FLUÊNCIA	46
6.2	O MODELO BRASILEIRO	46
6.2.1	COEFICIENTE DE FLUÊNCIA - $\phi(t, t_0)$	48
6.2.2	COEFICIENTE DE FLUÊNCIA RÁPIDA ϕ_a	48
6.2.3	COEFICIENTE DE FLUÊNCIA LENTA IRREVERSÍVEL ϕ_f	50
6.2.4	COEFICIENTE DE FLUÊNCIA LENTA REVERSÍVEL ϕ_d	53
6.2.5	COEFICIENTE DE FLUÊNCIA TOTAL	55
6.2.6	DEFORMAÇÃO DE FLUÊNCIA $\varepsilon_{cc}(t, t_0)$	55
7 -	O PROCESSO ITERATIVO	60
7.1	INTEGRAÇÃO NUMÉRICA	64
7.1.1	DEFORMAÇÃO DE FLUÊNCIA TOTAL	67
7.1.2	DEFORMAÇÃO DE FLUÊNCIA RÁPIDA	67
7.1.3	DEFORMAÇÃO DE FLUÊNCIA LENTA	67
7.1.4	TENSÃO RESULTANTE	69
7.2	COMPARAÇÃO ENTRE A TENSÃO RESULTANTE DO PROCESSO ITERATIVO X INTEGRAÇÃO NUMÉRICA	70
8 -	MODELO SIMPLIFICADO	72
9 -	APLICAÇÕES	75

9.1	EXEMPLO NUMÉRICO	76
10 -	CONCLUSÃO	82
11 -	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ⁰	85
APÊNDICE A.-	TABELAS COM AS DEFORMAÇÕES DE RETRAÇÃO ε_{cs} (T=3000, T ₀ =0).	87
APÊNDICE B.-	TABELA COM AS TENSÕES DE RETRAÇÃO σ_{cs} (T=3000, T ₀ =0).	88
APÊNDICE C.-	COEFICIENTE DE ENVELHECIMENTO χ (T=3000, T ₀ =0).	97
APÊNDICE D.-	TENSÃO RESULTANTE FINAL σ_R	100
APÊNDICE E.-	TABELA COM O COEFICIENTE DE FLUÊNCIA ϕ (T=3000, T ₀ =0).	109
APÊNDICE F.-	COEFICIENTE DE ENVELHECIMENTO DE Z. P. BAZANT	110

1 - INTRODUÇÃO

É comum encontrarmos, hoje, elementos estruturais compostos por duas etapas de concretagem (peça pré-fabricada + concreto moldado no local). É o caso das lajes alveolares, lajes TT (pi) e seções celulares de pontes [1,2] ilustrados na Figura 1. No mesmo contexto inserem-se as juntas de concretagem típicas de elementos estruturais com grandes volumes de concretos.

Figura 2: Capa moldada no local sobre laje alveolar

Esta dissertação estuda o comportamento ao longo do tempo, de uma camada de concreto novo (capa) simples (sem armadura) lançada sobre uma base endurecida, seja ela um elemento pré-moldado (Figura 2) ou um concreto existente.

O concreto da capa naturalmente reduzirá seu volume com a perda de água no processo de endurecimento [3,4]. Essa redução

de volume ao longo do tempo determina a chamada deformação de retração, cuja principal componente é devida à secagem de água livre dentro do concreto.

Não havendo aderência entre a capa e sua base, a capa poderá deformar-se livremente ao longo do tempo e não surgirão tensões. Havendo aderência, a base proporcionará à capa uma restrição ao movimento na interface de contato [3,5].

A restrição ao movimento tem como consequência a ocorrência de tensões normais de tração σ na capa e tensões de cisalhamento τ na interface entre os dois concretos, conforme Figura 3.

Caso a magnitude da tensão normal na capa, junto

Figura 3: Tensões geradas pela retração

ao contato supere a resistência à tração da mesma teremos a fissuração desse concreto. Por esse motivo, é muito relevante ter o conhecimento das tensões no concreto da capa provocadas pela restrição da estrutura subjacente.

As deformações devidas à retração por secagem ϵ_{cs} variam ao longo do tempo

e são previstas por modelos matemáticos em normas técnicas nacionais e internacionais. As tensões σ_{cs} originadas pela restrição de ϵ_{cs} são reduzidas (relaxadas) conforme Figura 4, pelas deformações de natureza viscosa (propriedade intrínseca do concreto prevista também por modelos normativos através de funções de fluência) provocadas ao se manter uma tensão constante no concreto ao longo do tempo.

O estudo das tensões σ_{cs} ao longo do tempo deve, portanto, considerar a concomitância da retração e fluência, exigindo a avaliação de ambas instante a instante [4].

2 - OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a determinação das tensões originadas pela retração em elementos de concreto de alturas 5, 10 e 15 cm com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência.

Essa determinação utiliza os modelos de previsão da retração e da fluência definidos na ABNT NBR 6118:2003 [6], sendo feita para a seguinte faixa de variação dos principais parâmetros que afetam o fenômeno em estudo.

- Umidade relativa do ar (U): 50, 70 e 90 %;
- Consistência do concreto no lançamento - Abatimento (ABT): 0-4, 5-9 e 10-15 cm;
- Temperatura (T): 15, 25 e 35 °C;
- Tipo de Cimento Portland: CPI e II, CPIII e IV, CPV;
- Classe de concreto: C25, C30 e C35, referentes à resistência característica à compressão (f_{ck}) de 25, 30 e 35 MPa, respectivamente.

3 - METODOLOGIA

Apresenta-se a seguir a metodologia empregada para a determinação da evolução no tempo das tensões devidas às deformações de retração restringida (Figura 5), considerando-se o efeito da deformação de fluência (deformações de natureza viscosa - dependentes do tempo), cujos modelos de previsão (retração e fluência) são definidos pela norma brasileira NBR 6118:2003[6].

Tanto a tensão de retração por secagem quanto a redução (relaxação) da mesma por deformações viscosas (fluência) são concomitantes, ou seja, à medida que o incremento de tensão de retração ($\Delta\sigma$) surge, de um

instante t para outro, o mesmo provoca uma deformação de fluência [4], conforme Figura 6, a qual irá reduzir a tensão atuante.

Figura 6: Deformação de fluência causada por incremento de tensão de retração por secagem

Cada incremento de tensão de retração $\Delta\sigma_i$ mantida constante desde o tempo t_0 de sua consideração até o tempo t_∞ provoca uma deformação de fluência, a qual

aumenta ao longo do tempo. Ressalta-se ainda que $\Delta\sigma_i$ diminui ao longo do tempo, diminuindo conseqüentemente a magnitude das deformações de fluência provocada pelos seus respectivos $\Delta\sigma_i$.

A solução do problema da Figura 5 para uma variação da deformação de retração $\Delta\epsilon_{cs}$ ou da fluência $\Delta\epsilon_{cc}$ pode ser obtida pelo Método dos Esforços [7] (Figura 7), o qual consiste na determinação dos esforços atuantes em uma estrutura hiperestática (estaticamente indeterminada) através de uma estrutura isostática fundamental, onde se aplicará os esforços atuantes na estrutura original, e uma carga (incógnita hiperestática) que trará a estrutura isostática fundamental para a condição da estrutura original, fazendo-se uso das equações constitutivas, equilíbrio de esforços e as de compatibilidade.

Figura 7: Método dos esforços no elemento com restrição variável

Onde:

E = Módulo de elasticidade da barra no instante em que ocorre $\Delta\varepsilon$;

A = Área da seção transversal da barra;

L = Comprimento da barra;

k = coeficiente de mola.

Rearranjando a expressão da tensão resultante ($\Delta\sigma$) da Figura 7, temos:

$$\Delta\sigma = \frac{X}{A} = \frac{\Delta\varepsilon E}{\frac{E}{L} \left(\frac{L}{E} + \frac{A}{k} \right)} = \frac{\Delta\varepsilon E}{\left(1 + \left(\frac{EA}{Lk} \right) \right)} \quad \text{Eq - 1}$$

Onde:

$\frac{1}{\left(1 + \left(\frac{EA}{Lk} \right) \right)}$ = é o fator de redução do módulo de elasticidade,

e $\left(\frac{EA}{Lk} \right)$ = é a rigidez relativa barra/mola. Com isso, pode-se definir grau de restrição

(GR) como o inverso da rigidez relativa para $E = E_{c,28}$: $GR = \frac{Lk}{E_{c,28}A}$ e a Equação 1

pode ser rescrita como:

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta\varepsilon E}{\left(1 + \left(\frac{EA}{Lk} \right) \right) \frac{E_{c,28}}{E_{c,28}}} = \frac{\Delta\varepsilon E}{1 + \frac{E}{E_{c,28} GR}} \quad \text{Eq - 2}$$

Onde:

$\frac{1}{1 + \frac{E}{E_{c,28} GR}}$ = é o fator de redução do módulo de elasticidade para qualquer

instante t_i .

Assim, quando o valor de GR tende ao infinito tem-se restrição total e o fator de redução do módulo de elasticidade é igual a 1. Quando o mesmo tende a zero tem-se restrição próxima de zero, não existe tensão – deformação livre.

Visando a determinação da evolução das tensões normais de tração ao longo do tempo, emprega-se um processo iterativo [idealizado inicialmente pelo Engº. José Zamarion Ferreira Diniz (Diretor da Empresa Zamarion e Millen Consultores S/S Ltda) e melhorado por esse autor] no qual o efeito da redução da tensão normal de tração por deformações viscosas (fluência) é obtido por aproximações sucessivas. Este processo está descrito detalhadamente no Capítulo 7.

Após a determinação das tensões finais pelo processo iterativo, é possível calibrar um método simplificado (descrito no Capítulo 8), no qual, o efeito da redução da tensão normal de tração por deformações viscosas (fluência) é considerado através da adoção de um módulo de deformação equivalente E_{eq} dado pela redução do módulo de deformação aos 28 dias $E_{c,28}$ como segue:

$$E_{eq} = \frac{E_{c,28}}{1 + \chi(t_{\infty}, t_0)\varphi(t_{\infty}, t_0)} \quad \text{Eq - 3}$$

Onde:

$\frac{1}{1 + \chi(t_{\infty}, t_0)\varphi(t_{\infty}, t_0)}$ = é o fator de redução do módulo de elasticidade aos 28 dias;

$\chi = \chi(t_{\infty}, t_0)$ = é o coeficiente de envelhecimento do intervalo $(t_{\infty} - t_0)$ considerado.

$\varphi = \varphi(t_{\infty}, t_0)$ = é o coeficiente de fluência para um carregamento iniciado no instante t_0 e mantido constante até o instante t_{∞} .

4 - O MATERIAL CONCRETO

Neste capítulo apresentam-se as características do concreto estudado neste trabalho.

4.1 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO

O concreto é um material heterogêneo, composto por [8]:

- Aglomerante (cimento+água);
- Agregado (material granular);
- Aditivos/adições.

Onde:

- a) Aglomerante = mistura de cimento hidráulico e água;
- b) Cimento Hidráulico = produto das reações químicas entre os minerais do cimento seco e água estáveis no ambiente (Cimento Portland);
- c) Cimento Portland (CP) = composto essencialmente de silicatos reativos de cálcio que proporcionam característica adesiva e estabilidade em ambiente aquoso;
 - Tipos de cimento Portland:
 - CPI – Comum;
 - CPI-S – Comum com adição de fíler carbonático, escória ou pozolana;
 - CPII-E – Composto com escória;
 - CPII-Z – Composto com pozolana;
 - CPII-F – Composto com fíler;
 - CPIII – De alto-forno;
 - CPIV – Pozolânico;
 - CPV-ARI – Alta resistência inicial;
 - Sufixo=BC – Baixo calor de hidratação;
 - Sufixo=RS – Resistente a sulfatos.

→ Serão abordados os tipos de cimento CPI, II, III, IV e V.

- d) Agregado = material granular classificado de acordo com sua granulometria e tipologia em areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, resíduos de construção e demolição (reciclagem de concreto, tijolo e pedregulho);
- e) Aditivos/Adições = Substâncias adicionadas ao concreto, antes ou durante a mistura de seus componentes de modo a proporcionar-lhe muitos benefícios:
- *Aditivos químicos (modificadores de pega)*: Acelera ou retarda o tempo de endurecimento da pasta de cimento (tempo de pega) influenciando na hidratação do cimento;
 - *Aditivos químicos tensoativos*:
 - *(reduzidores de água)*: Aumenta a consistência do concreto, sua resistência e também economia de cimento;
 - *(Incorporadores de ar)*: Melhora a durabilidade do concreto exposto à baixa temperatura.
 - *Adições minerais*: Melhora a trabalhabilidade, durabilidade à fissuração térmica e ao ataque químico. Seus tipos são:
 - Materiais pozolânicos naturais: vidros vulcânicos, tufos vulcânicos, argilas ou folhelos calcinados e terras diatomáceas;
 - Materiais de subprodutos: cinza volante (combustão de carvão), cinza de casca de arroz, escória de alto forno e sílica ativa.

→ Serão abordados os concretos sem Aditivos/Adições

4.2 TIPOS DE CONCRETO

Na Tabela 1 são apresentados os tipos de concreto.

Tabela 1: Tipos de concreto [8]

Propriedade	Classe	Característica	Aplicação
Massa específica	Leve	$\leq 1800 \text{ kg/m}^3$	Maior relação resistência/peso
	Normal	2400 kg/m^3	Estruturas comuns
	Pesado	$\geq 3200 \text{ kg/m}^3$	Na blindagem contra radiação
Resistência à compressão	Baixa	$< 20 \text{ MPa}$	Concreto não estrutural
	Moderada	$20\text{-}40 \text{ MPa}$	Estruturas comuns
	Alta	$> 40 \text{ MPa}$	Estruturas especiais

→ Serão abordados os concretos com massa específica normal e resistência à compressão moderada.

4.3 CURA DO CONCRETO

A cura do concreto são as medidas tomadas para evitar a evaporação prematura da água do concreto durante seu endurecimento [5,8]. Ela envolve uma combinação de fatores como o tempo, temperatura e umidade, os quais promovem a hidratação do cimento após a mistura do concreto.

Uma cura adequada é necessária para que o concreto alcance seu melhor desempenho (ganho de resistência, redução de porosidade e aumento de durabilidade das estruturas) [5,8].

Tipos de cura:

- Cura úmida: Aspersão de água, molhagem, cobertura da superfície do concreto com areia, serragem ou mantas de algodão molhadas. Para cimento comum recomenda-se fazer cura úmida por no mínimo 7 dias;
- Cura química: Aspersão de um produto químico para formar uma película na superfície do concreto para impedir a evaporação da água do concreto;
- Cura a vapor (térmica): feita em câmaras para garantir a umidade necessária ao concreto, acelerando a velocidade de ganho de resistência pelo aquecimento. É considerada a mais eficiente e mais difícil de realizar.

→ Não será considerada a influência da cura sobre o concreto.

5 - O FENÔMENO DA RETRAÇÃO DO CONCRETO

A redução de volume do concreto após a sua moldagem dá origem às deformações chamadas de retração [8].

As deformações devidas à retração do concreto decorrem de:

- Perda de água de amassamento por evaporação;
- Mudança de temperatura no resfriamento;
- Fenômenos químicos ligados à hidratação do cimento;
- Mudança de volume no estado plástico.

A deformação de retração (variação de comprimento por comprimento total [$\Delta L/L$]) é adimensional e expressa como porcentagem (%), partes por mil (‰), micro-deformações (deformação $\times 10^{-6}$) ou L/L, sendo L = unidade de comprimento. Exemplo m/m; cm/cm; mm/mm [9].

➔ Será adotada a expressão da deformação em micro-deformações.

Quando estas deformações são impedidas surgem tensões de tração que podem levar o concreto à fissuração [3] (Figura 8).

Existem alguns métodos para se reduzir o efeito das respectivas deformações de retração, Figura 9, (uso de cimento expansivo, aditivos e adições, execução de cura do concreto), os quais não serão abordados nesta dissertação [8].

5.1 TIPOS DE RETRAÇÃO

- Retração Autógena (química): Redução macroscópica do volume de materiais cimentícios devido às reações de hidratação do cimento [8,10], medida em ambiente fechado sem alterações climáticas e nem acréscimo de substâncias.
 - Ocorrem antes da retração por secagem;
 - Podem ser desconsiderada em concretos com baixa ou moderada resistência à compressão;
 - Deve ser considerada em concretos de alta resistência devido ao alto consumo de cimento e baixa relação água/cimento (menor que 0,40).
- Retração por secagem (hidráulica) [8,10]: Redução de volume devido à secagem (perda de água para o ambiente) do elemento de concreto.
 - Depende diretamente do tamanho e forma do elemento;
 - O processo de secagem é longo e difícil de determinar, experimentalmente, quando o elemento estará totalmente seco;

- Deve ser considerada em elemento com baixa espessura, pois, sua magnitude é relevante.
- Retração por carbonatação: Redução de volume pela reação do hidróxido de Cálcio $[C_a(OH)_2]$ presente na matriz de cimento com o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera [8,10].
 - Pode ser desconsiderado devido à sua baixa magnitude.
- Retração plástica: Redução de volume pela superioridade da taxa de perda de água da superfície do elemento em relação à taxa disponível de água exsudada (surgimento de água na superfície do concreto após seu lançamento e adensamento).
 - Ocorre antes do endurecimento da pasta de cimento (pega do concreto);
 - Pode ser desconsiderada devido à sua baixa magnitude e efeito superficial.
- Retração Térmica: Redução de volume pelo resfriamento, à temperatura ambiente, do calor liberado pela reação de hidratação do cimento.
 - Deve ser considerado para elemento de concreto com alta espessura, pois, há um grande aumento de temperatura (expansão de volume) pela fraca dissipação de calor e conseqüentemente maior redução de volume no resfriamento [8,10].

→ Será abordada apenas a retração por secagem em seu campo de relevância

5.2 MODELOS DE PREVISÃO DE DEFORMAÇÃO DE RETRAÇÃO POR SECAGEM

Na literatura há modelos matemáticos, [11] diferentes para prever os efeitos da deformação de retração por secagem.

Ressaltam-se na Tabela 2 alguns modelos e seus diferentes fatores adotados na previsão da retração por secagem:

- ACI - 209: American Concrete Institute (2005) [12];
- GL - 2000: Gardner e Lockman (2001) [13];
- CEB-MC90: CEB-FIP Model Code 1993 [14];

- B3: Bazant e Baweja (2000) [15,16];
- NBR 6118: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) [6].

Tabela 2: Fatores considerados na previsão de retração dos modelos normativos

FATORES	DEFORMAÇÃO DE RETRAÇÃO				
	POR SECAGEM				NBR 6118
	ACI 209	GL 2000	CEB MC90	B3	
Resistência a compressão aos 28 dias		X	X	X	
Umidade relativa do ar	X	X	X	X	X
Geometria do elemento	X	X	X	X	X
Tipo de cimento		X	X	X	
Tipo de cura	X			X	
Temperatura	X				X
Relação água/cimento	X			X	X
Consumo de ar	X				
Consumo de agregado	X			X	
Idade do concreto	X	X	X	X	X

Não é escopo desta dissertação a análise comparativa detalhada entre os modelos da Tabela 2, a mesma pode ser encontrada na Referência [17], mas ressalta-se que os modelos ACI 209 [12] e B3 [15,16] consideram a cura do concreto, a qual reduz o efeito da deformação de retração por secagem.

→ Será adotado o modelo brasileiro da NBR 6118.

5.3 O MODELO BRASILEIRO

Este item baseia-se no Anexo A da ABNT NBR 6118:2003 [6].

5.3.1 IDADE E ESPESSURA FICTÍCIAS

Quando o endurecimento do concreto ficar exposto a temperatura ambiente de 20° C e, nos demais casos, quando não houver cura a vapor, a idade fictícia (t_{fic}) a

considerar é:
$$t_{fic} = \alpha \sum_i \frac{T_i + 10}{30} \Delta t_{ef,i}$$

Onde:

t_{fic} = é a idade fictícia (dias).

α = é o coeficiente dependente da velocidade de endurecimento do cimento, o qual pode ser adotado em conformidade com a Tabela 3.

T_i = temperatura (°C) média diária do ambiente.

$\Delta t_{ef,i}$ = período (dias) durante o qual T_i pode ser admitida constante.

Tabela 3: Valores da fluência e da retração em função da velocidade de endurecimento do cimento [6].

Cimento Portland (CP)	α	
	Fluência	Retração
De endurecimento lento (CP III e CP IV, todas as classes de resistência)	1	
De endurecimento normal (CP I e CP II, todas as classes de resistência)	2	1
De endurecimento rápido (CP V-ARI)	3	

Onde:

CP I e CP I-S – Cimento Portland comum;

CP II-E, CP II-F e CP II-Z – Cimento Portlando composto;

CP III – Cimento Portland de alto forno;

CP IV – Cimento Portland pozolânico;

CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial;

A variação da idade fictícia está representada no Gráfico 1 para $T_i=15$, 25 e 35°C, mais comuns nas diversas regiões brasileiras. Temos uma região de interseção para os valores de $\alpha=2$, $T_i=35^\circ\text{C}$ e $\alpha=3$, $T_i=15^\circ\text{C}$.

Gráfico 1: Variação da idade fictícia

A espessura fictícia h_{fic} é definida como:

$$h_{fic} = \gamma \frac{2A_c}{u_{ar}}; \text{ cujo domínio é } 0,05 \text{ m} \leq h_{fic} \leq 1,6 \text{ m}.$$

Onde:

$$\gamma = 1 + e^{(-7,8+0,1U)} - \text{coeficiente dependente da umidade relativa do ambiente } U(\%) \leq 90$$

A_c = área da seção transversal do elemento.

u_{ar} = comprimento do perímetro da seção transversal do elemento em contato com o ar.

Para efeito deste estudo considera-se um elemento de concreto com largura unitária, altura h e apenas uma face de exposição ao ambiente, conforme Figura 10:

Figura 10: Características do elemento de concreto.

Com isso pode-se identificar a variação de h_{fic} em função de U e h . Onde a taxa de crescimento de h_{fic} é maior com o aumento de U , conforme Gráfico 2.

Gráfico 2: Variação da altura fictícia.

5.3.2 DEFORMAÇÃO DE RETRAÇÃO POR SECAGEM DO CONCRETO

A magnitude das deformações e tensões da retração livre do concreto varia com:

- Tempo;
- Umidade relativa do ambiente exposto;
- Consistência do concreto no lançamento (abatimento-ABT);
- Espessura fictícia da peça;
- Temperatura média diária do ambiente;

A deformação desenvolvida pela retração livre entre dois instantes t_0 (inicial) e t (final) é:

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \varepsilon_{cs, \infty} [\beta_s(t) - \beta_s(t_0)] \quad \text{Eq - 4}$$

Onde:

$\varepsilon_{CS,\infty} = \varepsilon_{1s} \cdot \varepsilon_{2s}$ é o valor da retração total que ocorre depois do concreto endurecido até o tempo infinito.

ε_{1s} é o coeficiente dependente da umidade relativa do ambiente e da consistência do concreto, conforme Tabela 4:

Tabela 4: Valores de ε_{1s} para determinação da retração.

Abatimento (ABT) [cm]	ε_{1s}
0-4	$\varepsilon_{1s} = 0,75 \cdot \left[10^{-4} \cdot \left(-6,16 - \frac{U}{484} + \frac{U^2}{1590} \right) \right]$
5-9	$\varepsilon_{1s} = 10^{-4} \cdot \left(-6,16 - \frac{U}{484} + \frac{U^2}{1590} \right)$
10-15	$\varepsilon_{1s} = 1,25 \cdot \left[10^{-4} \cdot \left(-6,16 - \frac{U}{484} + \frac{U^2}{1590} \right) \right]$
Umidade $U \leq 90\%$	

Segue Gráfico 3 para melhor representação da influência de U e do ABT sobre ε_{1s} . Nota-se que ε_{1s} aumenta seu valor absoluto com o aumento do abatimento (ABT) e diminui fortemente com o aumento da umidade (U).

Gráfico 3: Variação do coeficiente ε_{1s} .

ε_{2s} é o coeficiente que depende da altura fictícia ($0,05 \text{ m} \leq h_{fic} \leq 1,6 \text{ m}$) como

$$\text{segue: } \varepsilon_{2s} = \frac{33 + 2 \cdot h_{fic} \cdot 100}{20,8 + 3 \cdot h_{fic} \cdot 100}$$

Gráfico 4: Variação do coeficiente ε_{2s} .

ε_{2s} decresce com o aumento de h_{fic} . Tal decréscimo é mais intenso até altura fictícia de 0,6 m.

Já o coeficiente β_s depende da idade fictícia t_{fic} (≥ 3) e do tamanho, forma e ambiente de exposição do elemento considerado, representado aqui pela espessura fictícia h_{fic} em metros ($0,05 \leq h \leq 1,6 \text{ m}$):

$$\beta_s = \frac{\left(\frac{t_{fic}}{100}\right)^3 + A \cdot \left(\frac{t_{fic}}{100}\right)^2 + B \cdot \left(\frac{t_{fic}}{100}\right)}{\left(\frac{t_{fic}}{100}\right)^3 + C \cdot \left(\frac{t_{fic}}{100}\right)^2 + D \cdot \left(\frac{t_{fic}}{100}\right) + E}$$

Onde:

$$A = 40;$$

$$B = 116h_{fic}^3 - 282h_{fic}^2 + 220h_{fic} - 4,8;$$

$$C = 2,5h_{fic}^3 - 8,8h_{fic} + 40,7;$$

$$D = -75h_{fic}^3 + 585h_{fic}^2 + 496h_{fic} - 6,8;$$

$$E = -169h_{fic}^4 + 88h_{fic}^3 + 584h_{fic}^2 - 39h_{fic} + 0,8.$$

Cuja variação no tempo para as diversas espessuras fictícias é representada na Figura 11 a seguir:

Figura 11: Variação do coeficiente $\beta_{s,t}(t)$ [6]

Conhecidos todos os termos que afetam a deformação de retração ϵ_{cs} é possível determinar sua variação ao longo do tempo, cuja estabilização da curva foi considerada em $t=3000$ dias no Gráfico 5. No Apêndice A há mais valores de ϵ_{cs} para outras faixas de parâmetros.

Conforme se pode observar na tabela do Apêndice A, os valores de ϵ_{cs} aumentam em até 7,3 vezes com a diminuição de U (90 para 50%); em até 1,8 vezes com a diminuição de h (15 para 5 cm); em até 1,7 vezes com o aumento do ABT (0-4 para 10-15 cm); e em até 1,4 vezes com o aumento de T (15 para 35 °C).

Para avaliar o aumento ou a diminuição de ϵ_{cs} em relação aos parâmetros que a afetam fez-se todas as combinações de valores possíveis dos mesmos de acordo com o domínio estabelecido no item 2 e avaliou-se a influência de cada parâmetro sobre ϵ_{cs} . Ressalta-se que as maiores variações ocorrem aleatoriamente e não para os maiores valores de ϵ_{cs} . Todo este procedimento e ressalva serão adotados analogamente para a tensão de retração por secagem σ_{cs} , coeficiente de fluência ϕ , tensão resultante σ_R e coeficiente de envelhecimento χ , os quais serão definidos no decorrer desta dissertação.

Gráfico 5: Variação da deformação de retração por secagem $\varepsilon_{cs}(t=3000, t_0=0)$.

Com a curva de evolução de ε_{cs} no tempo é possível calcular a tensão σ_{cs} , Gráfico 6, associada a cada intervalo i devida a restrição da deformação definida no item 3, como segue:

$$\sigma_{cs,i} = (\varepsilon_{cs,i} - \varepsilon_{cs,i-1}) \frac{E_{ci}}{1 + \frac{E_{ci}}{E_{c,28}GR}} + \sigma_{cs,i-1} \quad \text{Eq - 5}$$

Onde:

i = idade cronológica [dias] ≥ 1 ;

$\sigma_{cs,i}$ = tensão no instante i em estudo [MPa];

$\sigma_{cs,i-1}$ = tensão no instante imediatamente anterior ao em estudo [MPa];

$\varepsilon_{cs,i}$ = Deformação específica no instante i em estudo;

$\varepsilon_{cs,i-1}$ = deformação imediatamente anterior à em estudo;

$E_{ci} = 5600\sqrt{f_{ck,i}}$ = Módulo de elasticidade no instante i em estudo [MPa];

$E_{c,28}$ = Módulo de elasticidade aos 28 dias [MPa];

$f_{ck,i} = \beta_1 f_{ck,28}$ = resistência característica à compressão no instante i em estudo;

$f_{ck,28}$ = resistência característica à compressão aos 28 dias;

$\beta_1 = e^{\left[1 - \sqrt{\frac{28}{i}}\right]}$ = é a função de crescimento da resistência do concreto na idade i por;

s = 0,38 para cimento CP III e CP IV;

s = 0,25 para cimento CP I e CP II;

s = 0,20 para cimento CP V;

GR = Grau de restrição à deformação;

Gráfico 6: Variação da tensão de retração por secagem $\sigma_{cs}(t=3000, t_0=0)$

Como a gama de variáveis e suas ações combinadas oferecem uma quantidade razoável de curvas tanto para ϵ_{cs} quanto para σ_{cs} , optou-se por fazer uso de representação em tabela apenas dos valores máximos ($t=3000$ dias) para cada

ação combinada de variáveis. Na Tabela 5 há algumas faixas de valores e as tabelas completas de ε_{cs} e σ_{cs} encontram-se nos Apêndices A e B respectivamente.

Conforme se pode observar no Apêndice B, os valores da tensão σ_{cs} aumentam em até 12,6 vezes com o aumento de GR (0,1 para 10.000), sendo que 11,3 vezes ocorre entre GR=0,1 e GR=10; em até 7,3 vezes com a diminuição de U (90 para 50%); em até 1,8 vezes com a diminuição de h (15 para 5 cm); em até 1,7 vezes com o aumento de ABT (0-4 para 10-15); em até 1,4 vezes com o aumento de T (15 para 35 °C); em até 1,2 vezes com o aumento do f_{ck} (25 para 35 MPa); e em até 1,1 vezes com o tipo de cimento [(CPIII e IV)>(CPI e II)>(CPV)].

Tabela 5: Valores de $\varepsilon_{cs}(t,t_0) \cdot [x10^6]$ e $\sigma_{cs}(t,t_0) \cdot [MPa]$ para o intervalo $t=3000$ e $t_0=0$.

ELEMENTO DE CONCRETO

Diagrama de um elemento de concreto retangular. A largura é indicada como 100 cm. A altura é indicada como h. A área da seção transversal é dada como $A_c = 100 \cdot h$. A distância entre as extremidades da seção transversal é dada como $u_{ar} = 100 \text{ cm}$.

Valores de ε_{cs}

ABT	T [°C]	U=90%			U=70%			U=50%		
		Altura do elemento h [cm]								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
10-15	15	111	83	63	379	320	286	593	504	455
	25	117	94	76	383	330	301	598	513	470
	35	120	101	86	385	334	308	600	518	478

Valores de σ_{cs} para T=25°C, ABT(10-15) e CPI e II

fck [Mpa]	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
		Altura do elemento h [cm]								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
25	0,1	0,30	0,24	0,20	0,97	0,84	0,77	1,52	1,31	1,20
	1	1,69	1,38	1,12	5,36	4,72	4,34	8,25	7,28	6,74
	10	3,16	2,60	2,11	9,81	8,76	8,13	14,95	13,43	12,55
	100	3,46	2,85	2,32	10,70	9,59	8,91	16,28	14,68	13,74
	1000	3,50	2,88	2,34	10,80	9,68	8,99	16,43	14,82	13,87
30	0,1	0,33	0,26	0,21	1,07	0,92	0,84	1,66	1,43	1,32
	1	1,85	1,51	1,22	5,87	5,17	4,76	9,04	7,97	7,39
	10	3,46	2,85	2,32	10,74	9,60	8,91	16,38	14,72	13,75
	100	3,79	3,12	2,54	11,72	10,50	9,76	17,84	16,08	15,05
	1000	3,83	3,15	2,57	11,83	10,60	9,85	18,00	16,23	15,19
35	0,1	0,35	0,29	0,23	1,15	1,00	0,91	1,79	1,55	1,42
	1	2,00	1,63	1,32	6,34	5,58	5,14	9,76	8,61	7,98
	10	3,74	3,07	2,50	11,60	10,37	9,62	17,69	15,90	14,85
	100	4,10	3,37	2,75	12,66	11,35	10,54	19,27	17,37	16,26
	1000	4,14	3,41	2,77	12,77	11,45	10,64	19,44	17,53	16,41

O fluxograma da Figura 12 ilustra melhor todo o processo para determinação da deformação de retração por secagem formulada anteriormente.

Figura 12: Fluxograma para determinação da retração por secagem.

6 - O FENÔMENO DA FLUÊNCIA DO CONCRETO

O concreto é um material visco-elástico com respostas elásticas no curto prazo e dependentes do tempo a médio e longo prazo para um carregamento mantido constante ao longo do tempo [8].

Os ensaios de fluência e de relaxação são utilizados para se estudar o comportamento visco-elástico unidirecional do concreto, o qual também pode ser representado por modelos reológicos ou matemáticos.

Figura 13: Ensaio de fluência

No ensaio de fluência (Figura 13) mantém-se uma tensão (σ_0) constante ao longo do tempo à medida que se registra o **aumento** da deformação [8].

- Quanto maior a duração do carregamento maior será a deformação;
- Quanto maior a Idade do concreto no início da aplicação do carregamento menor será a deformação.

Figura 14: Ensaio de relaxação

No ensaio de relaxação (Figura 14) mantém-se uma deformação (ϵ_0) constante ao longo do tempo à medida que se registra a **diminuição** da tensão.

- Quanto maior a duração do carregamento menor será a tensão;
- Quanto maior a idade do concreto no início da aplicação do carregamento maior será a tensão.

Para descrever o comportamento visco-elástico do concreto também se empregam modelos reológicos (Tabela 6 e Figuras 15 e 15), os quais procuram representar a evolução da tensão e/ou deformação com o tempo para um determinado material, utilizando segmento de mola

e pistão lubrificado associados entre si de diversas formas (análogo aos circuitos elétricos) [8].

Tabela 6: Segmento de mola e pistão lubrificado

$\sigma(t) = E \epsilon(t)$	<p><u>Segmento de mola:</u> A relação entre a tensão e a deformação é governada pela lei de Hooke.</p>
$\sigma(t) = \eta \dot{\epsilon}(t)$	<p><u>Segmento de pistão lubrificado:</u> Análogo a um pistão que desloca um fluido viscoso por um cilindro com fundo vazado. A relação entre a taxa de deformação e a tensão é governada pela lei da viscosidade de Newton.</p>
<p>$\sigma(t)$ = tensão no tempo; $\epsilon(t)$ = deformação no tempo; E = módulo de elasticidade;</p>	<p>$\dot{\epsilon}(t)$ = taxa de deformação no tempo; η = coeficiente de viscosidade.</p>

Figura 15: Tensão e Deformação nos segmentos de mola e pistão lubrificado [8]

Figura 16: Tensão e deformação nos modelos reológicos de Maxwell, Kelvin e Sólido [8]

O modelo de Maxwell pode ser adequado para líquido (taxa de deformação constante sob tensão constante), mas não o é para sólido. O de Kelvin não prevê relaxação por necessitar de uma tensão infinita para gerar a deformação instantânea necessária.

O modelo para Sólidos (Três Parâmetros ou Boltzmann) é mais complexo e representativo para o concreto, pois, apresenta uma parcela instantânea e outra que varia assintoticamente ao longo do tempo. Nele, tanto a fluência quanto a relaxação podem ser entendidos como uma redução do módulo de elasticidade (de E_1 para E_∞), porém, a taxa de redução na relaxação é mais rápida que na fluência.

Em estruturas reais de concreto as tensões e deformações, geralmente, não são constantes ao longo do tempo. Assim, o uso dos modelos reológicos torna-se muito complexo.

Para modelar condições extremas de complexidade de carregamento faz-se uso do princípio da superposição e representações integrais.

- Princípio da superposição [8,18-19]: deformações no concreto (Figura 17) ao longo do tempo t_i provocadas por incremento de tensão ($\Delta\sigma_i$) em t_0 são independentes dos efeitos de qualquer tensão aplicada fora de t_0 ;

Onde:

t_0 =tempo de início de aplicação da carga;

$1 < i < n$

Figura 17: Deformação de fluência provocada por incremento de tensão

- Representação integral [8,18-19]: soma de todo o histórico de deformação e tensão.

Desta forma é possível calcular a deformação se forem conhecidos a função de fluência e o histórico de tensões ou, analogamente, calcular a tensão se conhecidos a função de relaxação e o histórico da deformação [8,18-19], como segue.

A deformação total no concreto (Figura 18) no instante t [$\varepsilon_c(t)$] provocada por uma tensão σ_c aplicada no instante t_0 e mantida constante até o instante t é dada pela somatória das deformações elásticas [$\varepsilon_c(t_0)$], por fluência [$\varepsilon_{cc}(t, t_0)$] e por retração [$\varepsilon_{cs}(t)$]:

$$\varepsilon_c(t) = \varepsilon_c(t_0) + \varepsilon_{cc}(t, t_0) + \varepsilon_{cs}(t) \quad \text{Eq - 6}$$

Desmembrando, tem-se:

$$\varepsilon_c(t) = \overbrace{\frac{\sigma_c(t_0)}{E_c(t_0)}}^{\text{Elástica}} + \overbrace{\frac{\sigma_c(t_0)}{E_c(t_0)} \varphi(t, t_0)}^{\text{Variando no tempo (fluência)}} + \overbrace{\varepsilon_{cs}(t)}^{\text{Retração}} = \sigma_c(t_0) \left[\overbrace{\frac{1 + \varphi(t, t_0)}{E_c(t_0)}}^{\text{Função de fluência}} \right] + \varepsilon_{cs}(t) \quad \text{Eq-7}$$

Onde: $\varphi(t, t_0)$ é o coeficiente de fluência, o qual depende da idade de carregamento t_0 e a idade t para qual a deformação no concreto é calculada. Seu valor aumenta com a diminuição de t_0 e com o aumento do intervalo $(t - t_0)$ em que σ_c é mantida constante.

Figura 18: Deformação total no concreto para tensão constante em t_0 - t (Adaptado Ref.10).

Quando a tensão aplicada varia com o tempo, a deformação total no concreto é dada por:

$$\varepsilon_c(t) = \overbrace{\sigma_c(t_0) \frac{1 + \varphi(t, t_0)}{E_c(t_0)}}^{\text{Tensão constante}} + \underbrace{\int_{\sigma_c(t_0)}^{\sigma_c(t)} \frac{1 + \varphi(t, \tau)}{E_c(\tau)} d\sigma_c(\tau)}_{\text{Integral Hereditária}} + \varepsilon_{cs}(t) \quad \text{Eq - 8}$$

A integral hereditária na Equação 8 representa a soma das deformações instantâneas mais as de fluência no instante t devidas a um incremento de tensão no concreto $\Delta\sigma_c$, introduzido gradualmente durante o intervalo (t-t₀). Dessa forma, a fluência ocorre com uma magnitude menor do que a obtida se o mesmo $\Delta\sigma_c$ fosse integralmente aplicado no tempo t₀ e mantido constante até t.

Pode-se então considerar o $\Delta\sigma_c$ aplicado em t₀ e constante até t, desde que, faça uma redução da fluência. Isso é feito pelo coeficiente de envelhecimento $\chi=\chi(t, t_0)$ (fator adimensional e menor que 1). Com essa importante simplificação pode-se reescrever a Equação 8, substituindo a integral:

$$\varepsilon_c(t) = \overbrace{\sigma_c(t_0) \frac{1 + \varphi(t, t_0)}{E_c(t_0)}}^{(1)} + \overbrace{\Delta\sigma_c(t) \frac{1 + \chi(t, t_0)\varphi(t, t_0)}{E_c(t_0)}}^{(2)} + \varepsilon_{cs}(t) \quad \text{Eq - 9}$$

Ou

$$\varepsilon_c(t) = \frac{\overbrace{\sigma_c(t_0)}^{(1)}}{\overbrace{1 + \varphi(t, t_0)}^{(1)}} + \frac{\overbrace{\Delta\sigma_c(t)}^{(2)}}{\overbrace{1 + \chi(t, t_0)\varphi(t, t_0)}^{(2)}} + \varepsilon_{cs}(t) \quad \text{Eq - 10}$$

Relembrando que:

(1) = é a deformação instantânea mais a deformação de fluência devido a uma tensão $\sigma_c(t_0)$ aplicada em t₀ e mantida constante até t;

(2) = é a deformação instantânea mais a deformação de fluência no instante t devido a um incremento (positivo ou negativo) de tensão mudando gradualmente de valor zero em t₀ para $\Delta\sigma_c(t)$ em t.

O ajuste do módulo de elasticidade pelo coeficiente de envelhecimento foi introduzido por H. TROST considerando módulo de elasticidade constante e melhorado por Z. P. BAZANT [19], o qual introduziu a variação do módulo, cujos valores do coeficiente de envelhecimento estão apresentados na Tabela 7 e os

procedimentos para elaboração da mesma, inclusive a reprodução de alguns valores está feita no Apêndice F.

Tabela 7: Variação do coeficiente de envelhecimento de Z.P.BAZANT [12]

t-t₀ em dias	v_u	t₀ em dias			
		10	100	1000	10000
10	0,5	0,525	0,804	0,811	0,809
	1,5	0,728	0,826	0,825	0,82
	2,5	0,774	0,842	0,837	0,83
	3,5	0,806	0,856	0,848	0,839
100	0,5	0,505	0,888	0,916	0,915
	1,5	0,739	0,919	0,932	0,928
	2,5	0,804	0,935	0,943	0,938
	3,5	0,839	0,946	0,951	0,946
1000	0,5	0,511	0,912	0,973	0,981
	1,5	0,732	0,943	0,981	0,985
	2,5	0,795	0,956	0,985	0,988
	3,5	0,83	0,964	0,987	0,99
10000	0,5	0,501	0,899	0,976	0,994
	1,5	0,717	0,934	0,983	0,995
	2,5	0,781	0,949	0,986	0,996
	3,5	0,818	0,958	0,989	0,997

A determinação das tensões no concreto a partir do histórico de deformações empregando-se uma função de relaxação é detalhada a seguir.

Quando um elemento de concreto restringido é submetido na idade t_0 a uma deformação ε_c , a tensão imediata será:

$$\sigma_c(t_0) = \varepsilon_c E_c(t_0) \quad \text{Eq - 11}$$

Se a deformação for mantida constante, a tensão irá diminuir (relaxar) devido ao efeito de fluência. O valor da tensão no instante $t > t_0$ devido à deformação introduzida em t_0 será:

$$\sigma_c(t) = \varepsilon_c r(t, t_0) \quad \text{Eq - 12}$$

Onde:

$r(t, t_0)$ = é a função de relaxação, a qual é definida como a tensão no instante t devido à uma deformação unitária introduzida em t_0 e mantida constante no intervalo $(t-t_0)$.

6.1 MODELOS DE PREVISÃO DE DEFORMAÇÃO DE FLUÊNCIA

Na literatura há modelos matemáticos [11] diferentes para prever os efeitos da deformação de fluência.

Ressaltam-se na Tabela 8 alguns modelos e seus diferentes fatores adotados na previsão:

- ACI - 209: American Concrete Institute (2004) [12];
- GL - 2000: Gardner e Lockman (2001) [13];
- CEB-MC90: CEB-FIP Model Code 1993 [14];
- B3: Bazant e Baweja (2000) [15,16]
- NBR 6118: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) [6].

Tabela 8: Fatores considerados na previsão de fluência dos modelos normativos

FATORES	ACI 209	GL 2000	CEB- MC90	B3	NBR 6118
Resistência a compressão aos 28 dias		X	X	X	X
Umidade relativa do ar	X	X	X	X	X
Geometria do elemento	X	X	X	X	X
Tipo de cimento		X	X	X	X
Tipo de cura	X			X	
Temperatura			X		X
Relação água/cimento	X			X	X
Consumo de ar	X				
Consumo de agregado	X			X	
Idade do concreto	X	X	X	X	X
Idade de carregamento	X	X	X	X	X

Faz-se aqui a mesma observação, referente à abordagem detalhada dos métodos, feita para o item da deformação de retração.

➔ Adotaremos o modelo brasileiro da NBR 6118.

6.2 O MODELO BRASILEIRO

Este item também se baseia no Anexo A da ABNT NBR 6118:2003 [6], tem a mesma definição da espessura e da idade fictícia do item 5.3.1.

O efeito da fluência é admitido segundo as hipóteses:

- A deformação por fluência (ε_{cc}) varia linearmente com a tensão aplicada;
- Há superposição dos efeitos de fluência para acréscimos de tensão aplicados em instantes distintos;
- A fluência rápida produz deformações constantes ao longo do tempo;
- O valor do coeficiente de fluência rápida irreversível (φ_a) é função da relação entre a resistência do concreto no momento da aplicação da carga e a sua resistência final no tempo infinito;
- O coeficiente de fluência lenta reversível (φ_d) depende apenas da duração do carregamento ($t-t_0$). Seu valor final e o seu desenvolvimento ao longo do tempo são independentes da idade do concreto no momento da aplicação da carga;
- O coeficiente de fluência lenta irreversível (φ_f) depende de:
 - Umidade relativa do ambiente (U);
 - Consistência do concreto (abatimento) no lançamento;
 - Tamanho, forma e ambiente de exposição do elemento considerado representado pela espessura fictícia da peça h_{fic} ;
 - Idade fictícia do concreto no instante (t_0) da aplicação da carga;
 - Idade fictícia do concreto no instante considerado (t).

As curvas de deformação lenta irreversível, para o mesmo concreto em função do tempo, correspondentes a diferentes idades do concreto no momento do carregamento são obtidas, umas em relação às outras, por deslocamento paralelo ao eixo das deformações conforme Figura 19.

➔ Ressalta-se que não há restrição quanto à **tensão aplicada**, ou seja, a mesma pode ser de **tração ou compressão**. A Referência [14], por exemplo, também aceita a aplicação da tensão de tração na previsão da deformação de fluência.

Figura 19: Variação de ε_{cc} em função do tempo [6]

6.2.1 COEFICIENTE DE FLUÊNCIA - $\varphi(t, t_0)$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_a + \varphi_f + \varphi_d = \varphi_a + \varphi_{f\infty} [\beta_f(t) - \beta_f(t_0)] + \varphi_{d\infty} \cdot \beta_d \quad \text{Eq - 13}$$

Onde:

φ_a = Coeficiente de fluência rápida;

$\varphi_f = \varphi_{f\infty} [\beta_f(t) - \beta_f(t_0)]$ = Coeficiente de fluência lenta irreversível;

$\varphi_d = \varphi_{d\infty} \cdot \beta_d$ = Coeficiente de fluência lenta reversível.

t é a idade fictícia (dias) do concreto no instante considerado.

t_0 é a idade fictícia (dias) do concreto no instante do carregamento.

6.2.2 COEFICIENTE DE FLUÊNCIA RÁPIDA φ_a

$$\varphi_a = 0,8 \left[1 - \frac{f_c(t_0)}{f_c(t_\infty)} \right] \quad \text{Eq - 14}$$

, onde $\frac{f_c(t_0)}{f_c(t_\infty)}$ é a função de crescimento da resistência do concreto com a idade (β_1),

a qual é dada por: $\beta_1 = \frac{f_c(t_0)}{f_c(t_\infty)} = e^{s \left[1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right]}$

Onde:

$s = 0,38$ – cimento CP III e CP IV;

$s = 0,25$ – cimento CP I e CP II;

$s = 0,20$ – cimento CP V.

t = é a idade efetiva do concreto

β_1 possui valores maiores conforme o tipo de cimento em ordem decrescente CPV>(CPI e II)>(CPIII e IV) para idade inferior a 28 dias, valores iguais aos 28 dias e inverte a ordem decrescente (CPII e IV)>(CPI e II)>CPV para idade superior a 28 dias, conforme Gráfico 7.

resistência à compressão ($f_{ck}=20, 25, 30$ e 35 MPa) não é significativa. Assim, não será avaliada sua variação para o coeficiente de fluência φ e arbitra-se o valor fixo de 25 MPa, mais comum encontrado nas obras.

A variação de φ_a é influenciada por β_1 , sendo que os seus maiores valores causam os menores valores de φ_a , conforme Gráfico 8, onde as curvas mais baixas referem-se ao tipo de cimento CPV, as intermediárias ao CPI e CPII e as superiores ao CPIII e IV. No mesmo gráfico observa-se que a influência da classe de

Gráfico 8: Variação do coeficiente de fluência φ_a em função do tempo

6.2.3 COEFICIENTE DE FLUÊNCIA LENTA IRREVERSÍVEL φ_f

$\varphi_{f\infty} = \varphi_{1c} \cdot \varphi_{2c}$ é o valor final do coeficiente de fluência lenta irreversível

φ_{1c} = coeficiente dependente da umidade relativa do ambiente $U(\%)$ e da consistência do concreto ABT (cm) conforme Tabela 9.

Tabela 9: Variação do coeficiente φ_{1c}

Abatimento	φ_{1c}
ABT [cm]	
0-4	$\varphi_{1c} = 0,75 \cdot (4,45 - 0,035 \cdot U)$
5-9	$\varphi_{1c} = (4,45 - 0,035 \cdot U)$
10-15	$\varphi_{1c} = 1,25 \cdot (4,45 - 0,035 \cdot U)$
Umidade $U \leq 90\%$	

Segue Gráfico 9 para representação da influência de U e do ABT sobre φ_{1c} , no qual os valores de φ_{1c} aumentam com o aumento do abatimento (ABT) e diminuem linearmente com o aumento da umidade (U).

Gráfico 9: Variação do coeficiente φ_{1c} em função do tempo

$$\varphi_{2c} = \frac{42 + h_{fic}}{20 + h_{fic}} = \text{coeficiente dependente da espessura fictícia } h_{fic} \text{ (cm) da peça.}$$

Gráfico 10: Variação do coeficiente φ_{2c} em função do tempo

Conforme Gráfico 10, os valores de φ_{2c} diminuem com o aumento da altura fictícia h_{fic} , a qual aumenta com o aumento da altura do elemento (h) e da umidade (U). Portanto, φ_{2c} diminui com o aumento de h e U .

$\beta_f(t)$ ou $\beta_f(t_0)$ é o coeficiente relativo à deformação lenta irreversível, o qual é função da idade fictícia do concreto e dado por: $\beta_f(t) = \frac{t_{fic}^2 + A.t_{fic} + B}{t_{fic}^2 + C.t_{fic} + D}$

Onde:

$$A = 42h_{fic}^3 - 350h_{fic}^2 + 588h_{fic} + 113$$

$$B = 768h_{fic}^3 - 3060h_{fic}^2 + 3234h_{fic} - 23$$

$$C = -200h_{fic}^3 + 13h_{fic}^2 + 1090h_{fic} + 183$$

$$D = 7579h_{fic}^3 - 31916h_{fic}^2 + 35343h_{fic} + 1931$$

h_{fic} = espessura fictícia em metros (m) – $0,05 \leq h_{fic} \leq 1,6$

Figura 20: Variação do coeficiente $\beta_f(t)$ em função do tempo [6]

A Figura 20 representa graficamente β_f , o qual aumenta com o aumento da idade fictícia t_{fic} e diminui com o aumento da altura fictícia h_{fic} , a qual aumenta com o aumento da altura do elemento (h) e da umidade (U). Portanto, β_f diminui com o aumento de h e U .

Conhecidos todos os coeficientes para determinação de φ_f é possível conhecer sua variação, conforme Gráfico 11, para isso adotou-se os parâmetros da Tabela 10;

Tabela 10: Entrada de dados adotada aleatoriamente.

DESCRIÇÃO	VALOR
Umidade relativa do ar [U] (%)	70
Altura do elemento de concreto [h] (cm)	5
Largura do elemento [L] (cm)	100
Perímetro em contato com o ar [u_{ar}] (cm)	100
Coeficiente função da velocidade de endurecimento do concreto [α]	2 (CPI e II)
Resistência à compressão do concreto aos 28 dias [$f_{ck,28}$] (MPa)	25
Abatimento [ABT]	5 a 9
Temperatura média diária [T] °c	25

Gráfico 11: Variação do coeficiente φ_f em função do tempo

6.2.4 COEFICIENTE DE FLUÊNCIA LENTA REVERSÍVEL φ_d

$\varphi_{d\infty}$ é o valor final do coeficiente de deformação lenta reversível, considerado igual a 0,4.

β_d é o coeficiente relativo à deformação lenta reversível, função do tempo $(t-t_0)_{fic}$ decorrido após o carregamento $\beta_d = \frac{(t-t_0)_{fic} + 20}{(t-t_0)_{fic} + 70}$, cuja variação (aumento com o aumento do intervalo $(t-t_0)$) é representada pelo Gráfico 12.

Gráfico 12: Variação do coeficiente β_d em função do tempo

Definidos $\varphi_{d\infty}$ e β_d é possível determinar φ_d , o qual acompanha a variação de β_d multiplicado por 0,4 conforme Gráfico 13.

Gráfico 13: Variação do coeficiente φ_d em função do tempo

6.2.5 COEFICIENTE DE FLUÊNCIA TOTAL

Conhecidos os coeficientes φ_a , φ_d e φ_f , é possível determinar $\varphi(t, t_0)$ para cada combinação (t, t_0) . Como a gama de variáveis e suas ações combinadas oferecem uma quantidade razoável de curvas, optou-se por fazer representação em tabela dos valores máximos para cada ação combinada de variáveis, conforme Tabela 11. Outra configuração para $t=3000$ dias e $t_0=0$ encontra-se no Apêndice E.

Tabela 11: Valores do coeficiente de fluência $\varphi(t, t_0)$ para $f_{ck} = 25$ MPa, $T=25^\circ\text{C}$, $t=3000$ e $t_0=0$.

ELEMENTO DE CONCRETO

Diagrama de um elemento de concreto retangular. A largura é indicada como $u_{ar} = 100 \text{ cm}$. A altura é indicada como h . A área da seção transversal é indicada como $A_c = 100 \cdot h$. Um comprimento de 100 cm é marcado no topo do elemento.

ABT	Cimento	U=90%			U=70%			U=50%		
		Altura do elemento h [cm]								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
0-4	CPI e II	1,57	1,41	1,35	2,67	2,37	2,20	3,65	3,23	2,99
	CPIII e IV	1,52	1,34	1,26	2,62	2,30	2,12	3,59	3,16	2,90
	CPV	1,58	1,43	1,37	2,67	2,37	2,21	3,65	3,25	3,01
5-9	CPI e II	1,96	1,75	1,66	3,43	3,02	2,79	4,72	4,17	3,85
	CPIII e IV	1,89	1,65	1,55	3,36	2,93	2,69	4,65	4,08	3,74
	CPV	1,97	1,77	1,69	3,43	3,03	2,81	4,74	4,19	3,88
10-15	CPI e II	2,35	2,08	1,97	4,18	3,67	3,39	5,80	5,11	4,72
	CPIII e IV	2,26	1,96	1,83	4,10	3,56	3,26	5,70	4,99	4,57
	CPV	2,36	2,11	2,01	4,19	3,69	3,42	5,82	5,14	4,75

Na Tabela 11 e Apêndice E o $\varphi(t, t_0)$ aumenta em até 2,6 vezes com a diminuição de U (90 para 50%); em até 1,6 vezes com o aumento de ABT (0-4 para 10-15 cm); em até 1,3 vezes com a diminuição de h (15 para 5 cm); em até 1,1 vezes com o tipo de cimento [(CPV)>(CPI e II)>(CPIII e IV)]; e em até 1,1 vezes com o aumento de T (15 para 35 °C).

6.2.6 DEFORMAÇÃO DE FLUÊNCIA $\varepsilon_{cc}(t, t_0)$

Em um instante t qualquer, a deformação de fluência ε_{cc} causada por uma tensão qualquer σ_c aplicada no instante t_0 e mantida constante até o instante t é

expressa pela soma das deformações de fluência [rápida irreversível (ε_{cca}), lenta reversível (ε_{ccd}) e lenta irreversível (ε_{ccf})] ou pela aplicação do coeficiente de fluência

$\varphi(t, t_0)$, na deformação instantânea $\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_{c,28}}$ causada pela referida tensão:

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \varepsilon_{cca} + \varepsilon_{ccd} + \varepsilon_{ccf} = \frac{\sigma_c}{E_{c,28}} \varphi(t, t_0) \quad \text{Eq - 15}$$

Onde:

$E_{c,28} = 5600\sqrt{f_{ck}}$ - Módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias;

f_{ck} - Valor da resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias;

$$\varepsilon_{cca} = \frac{\sigma_c}{E_{c,28}} \varphi_a; \quad \text{Eq - 16}$$

$$\varepsilon_{ccd} = \frac{\sigma_c}{E_{c,28}} \varphi_d = \frac{\sigma_c}{E_{c,28}} \varphi_{d\infty} \beta_d; \quad \text{Eq - 17}$$

$$\varepsilon_{ccf} = \frac{\sigma_c}{E_{c,28}} \varphi_f = \frac{\sigma_c}{E_{c,28}} \varphi_{f\infty} [\beta_f(t) - \beta_f(t_0)]. \quad \text{Eq - 18}$$

Portanto, cada parcela da deformação de fluência (rápida, lenta reversível e irreversível) varia linearmente em conformidade com seus respectivos coeficientes, conforme Gráfico 14.

Gráfico 14: Variação das parcelas das deformações de fluência ε_{cc} em função do tempo

A deformação lenta total para cada instante t considerado é a soma de cada parcela das deformações (rápida, lenta reversível e irreversível), como ilustrado na Figura 21

Figura 21: Deformação lenta total ϵ_{cc} para cada instante t .

Dessa forma obtém-se a curva da deformação de fluência ϵ_{cc} com o tempo, conforme Gráfico 15.

Gráfico 15: Variação da deformação de fluência total ϵ_{cc} em função do tempo

Com a curva de ε_{cc} e supondo restrição total das deformações, é possível calcular as tensões de relaxação associadas a cada intervalo com os seus respectivos módulos de elasticidade (Gráfico 16), em analogia à tensão de retração.

$$\sigma_{cc,i} = (\varepsilon_{cc,i} - \varepsilon_{cc,i-1}) \frac{E_{ci}}{1 + \frac{E_{ci}}{E_{c,28}GR}} + \sigma_{cc,i-1} \quad \text{Eq - 19}$$

Onde:

i = idade cronológica [dias] ≥ 1 ;

$\sigma_{cc,i}$ = tensão no instante em estudo [MPa];

$\sigma_{cc,i-1}$ = tensão no instante imediatamente anterior ao em estudo [MPa];

$\varepsilon_{cc,i}$ = Deformação unitária no instante em estudo;

$\varepsilon_{cc,i-1}$ = deformação imediatamente anterior a em estudo;

$E_{ci} = 5600\sqrt{f_{ck,i}}$ = Módulo de elasticidade no instante i em estudo [MPa];

$E_{c,28}$ = Módulo de elasticidade aos 28 dias [MPa];

$f_{ck,i} = \beta_1 f_{ck,28}$ = resistência característica à compressão no instante i em estudo;

$f_{ck,28}$ = resistência característica à compressão aos 28 dias;

$\beta_1 = e^{s\left[1-\sqrt{\frac{28}{i}}\right]}$ = é a função de crescimento da resistência do concreto na idade i ;

$s = 0,38$ para cimento CP III e CP IV;

$s = 0,25$ para cimento CP I e CP II;

$s = 0,20$ para cimento CP V;

GR = Grau de restrição à deformação;

Gráfico 16: Variação da tensão de fluência σ_{cc} em função do tempo

O fluxograma da Figura 22 ilustra melhor todo o processo para determinação da deformação de fluência formulado anteriormente.

Figura 22: Fluxograma para determinação da deformação de fluência

7 - O PROCESSO ITERATIVO

Descreve-se a seguir as etapas do processo iterativo idealizado inicialmente pelo Engº. José Zamarion Ferreira Diniz (Diretor da Empresa Zamarion e Millen Consultores S/S Ltda) e melhorado por esse autor.

A Figura 23 e o Gráfico 17 ajudam a ilustrar o processo iterativo, cujas etapas utilizam os conceitos anteriormente vistos:

- a) Determinação da curva de tensão de retração sem consideração da fluência e sua segmentação em incrementos de tensão ($\Delta\sigma$ para intervalos de tempo ($\Delta t = 1$ dia), os quais provocarão deformação de fluência;
- b) Para as tensões do item a) ($\sigma \times t$) determina-se as deformações de fluência e sua respectiva tensão associada (que correspondem a um alívio das tensões iniciais);
- c) Início da Iteração: determinar uma curva de tensão resultante subtraindo-se da curva de tensão de retração do item a) a curva de tensão de fluência;
- d) Segmentação desta nova curva de tensão resultante em intervalos de tempo ($\Delta t = 1$ dia) e determinação dos seus respectivos incrementos ($\Delta\sigma$);
- e) Repetir, até a convergência, as etapas a partir do item b) e determinar a nova curva de tensão resultante do item c);

O processo iterativo termina quando há convergência, ou seja, quando a curva de tensão resultante do passo atual for igual a do passo anterior. Normalmente, no máximo 25 iterações são suficientes para a convergência.

A convergência do processo iterativo define uma curva (única) de tensão final ao longo do tempo determinada subtraindo-se da curva de tensão de retração (sem efeito de fluência) o efeito da fluência calculado a partir da própria curva de tensão final obtida.

Figura 23: Etapas do Processo iterativo

Gráfico 17: Curvas de tensão ao longo do tempo das etapas do Processo iterativo

Com a convergência do processo iterativo obtêm-se a tensão resultante final σ_R na estrutura, a qual é representada na Tabela 12 para alguns valores e no Apêndice D para mais faixas de valores.

Conforme se pode observar no Apêndice D, os valores da tensão σ_R aumentam em até 8,3 vezes com o aumento de GR (0,1 para 10.000), sendo que 7,7 vezes ocorre entre GR=0,1 e GR=10; em até 6,9 vezes com a diminuição de U (90 para 50%); em até 1,7 vezes com a diminuição de h [15 para 5 cm no domínio U=90% (integral), U=70 e 50% (somente para GR≤1)]; em até 1,4 vezes com o aumento de h (5 para 15 cm no domínio U=70 e 50% (somente para GR≥10)); em até 1,7 vezes com o aumento de ABT (0-4 para 10-15); em até 1,5 vezes com o tipo de cimento [(CPV)>(CPI e II)>(CPIII e IV)]; em até 1,4 vezes com o aumento de T (15 para 35 °C); e em até 1,2 vezes com o aumento do f_{ck} (25 para 35 MPa).

Obtida a tensão resultante pode-se compará-la à tensão de retração sem fluência e à tensão resistente do concreto ($f_{cm} = 0,3 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$) através do Gráfico 18, onde se consideram fixos alguns parâmetros comumente encontrados nas obras para restrição total (GR=10.000) da base. Ressalta-se que os pontos onde a tensão resultante (retração com fluência) ultrapassa a resistente desenvolverão fissuras.

Gráfico 18: Avaliação das três tensões: Retração sem fluência; Retração com fluência; Resistente.

No Gráfico 18 e comparando os Apêndices B (σ_{cs}) e D (σ_R) pode-se observar que os valores de σ_R representam uma redução de até 5,1 vezes no valor de σ_{cs} .

Tabela 12: Valores da tensão de retração com fluência σ_R para $f_{ck} = 25\text{MPa}$, $t = 3000$ e $t_0 = 0$

ELEMENTO DE CONCRETO

Valores de σ_R para T=25°C, ABT(10-15) e CPI e II										
fck [Mpa]	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
		Altura do elemento h [cm]								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
25	0,1	0,28	0,23	0,18	0,83	0,75	0,70	1,22	1,11	1,04
	1	1,15	1,00	0,83	2,68	2,73	2,70	3,25	3,51	3,59
	10	1,69	1,53	1,30	3,37	3,70	3,79	3,77	4,42	4,72
	100	1,77	1,62	1,37	3,46	3,83	3,95	3,92	4,55	4,88
	1000	1,78	1,63	1,38	3,47	3,84	3,96	3,96	4,57	4,90
30	0,1	0,30	0,25	0,20	0,91	0,82	0,76	1,33	1,21	1,14
	1	1,26	1,10	0,91	2,94	2,99	2,95	3,56	3,84	3,93
	10	1,85	1,68	1,42	3,70	4,05	4,15	4,13	4,84	5,17
	100	1,94	1,77	1,50	3,79	4,20	4,32	4,30	4,99	5,35
	1000	1,95	1,78	1,51	3,80	4,21	4,34	4,34	5,01	5,37
35	0,1	0,33	0,27	0,22	0,99	0,88	0,82	1,44	1,31	1,23
	1	1,36	1,18	0,99	3,18	3,23	3,19	3,84	4,15	4,25
	10	2,00	1,81	1,53	3,99	4,37	4,48	4,46	5,23	5,59
	100	2,09	1,91	1,62	4,10	4,53	4,67	4,64	5,39	5,78
	1000	2,10	1,92	1,63	4,11	4,55	4,69	4,69	5,41	5,80

7.1 INTEGRAÇÃO NUMÉRICA

Com o objetivo de validar o método do processo iterativo optou-se em fazer uma soma instante a instante (integração numérica - Figura 24) das etapas de incremento de tensão, provocado pelo fenômeno da retração, e seu alívio de tensão devido à deformações de fluência.

Figura 24: Processo de Integração Numérica

O processo de integração numérica:

- Inicia-se no instante $t_0=t_1$ com uma tensão de retração $\sigma_1^d=\sigma_1$ imediatamente à direita do tempo t_1 , a qual é mantida constante ao longo do tempo;
- Entre os instantes de tempo (t_2,t_1) a tensão σ_1^d provoca deformações de fluência $\varepsilon_{cc1}(t_2,t_1)$, que multiplicadas pelo respectivo módulo de elasticidade do concreto no instante em questão gera a tensão de

fluência a qual reduz a intensidade da tensão de retração σ_1^d para:

$$\sigma_2^e = \sigma_1^d - \Delta\epsilon_{cc1}(t_2, t_1)E_1 ; \quad \text{Eq - 20}$$

- Imediatamente à direita do instante (t_2) ocorre o novo incremento de tensão de retração, o qual se soma à tensão de retração reduzida imediatamente à esquerda de (t_2) para formar a nova tensão:

$$\sigma_2^d = \sigma_2^e + \Delta\sigma_{cs2} \text{ com } \Delta\sigma_{cs2} = E_2\Delta\epsilon_{cs2} ;$$

- No instante seguinte:

$$\sigma_3^e = \sigma_2^d - (\Delta\epsilon_{cc1}(t_2, t_1) + \Delta\epsilon_{cc2}(t_3, t_2))E_2 ; \quad \text{Eq - 21}$$

- E imediatamente à direita: $\sigma_3^d = \sigma_3^e + \Delta\sigma_{cs3}$ com $\Delta\sigma_{cs3} = E_3\Delta\epsilon_{cs3}$
- Em um instante genérico (j): $\sigma_j^e = \sigma_{j-1}^d - \left[\sum_{i=1}^{j-1} \Delta\epsilon_{cci}(t_j, t_{j-1}) \right] E_{j-1}$, onde:

$\sum_{i=1}^{j-1} \Delta\epsilon_{cci}(t_j, t_{j-1})$ é a deformação de fluência total ocorrida no intervalo em estudo;

- E imediatamente à direita: $\sigma_j^d = \sigma_j^e + \Delta\sigma_{csj}$;
- E assim por diante, conforme Figuras 24 e 25.

Figura 25: Deformação de fluência para cada incremento de tensão ao longo do tempo.

7.1.1 DEFORMAÇÃO DE FLUÊNCIA TOTAL

A cada valor de $\Delta\sigma_i$ está associada uma deformação de fluência $\Delta\varepsilon_{cc}$, a qual é a soma das parcelas $\Delta\varepsilon_{cca}$ (rápida), $\Delta\varepsilon_{ccf}$ (lenta irreversível) e $\Delta\varepsilon_{ccd}$ (lenta reversível).

$$\sum_{i=j-1}^j \Delta\varepsilon_{cci} = \Delta\varepsilon_{ccai} + \Delta\varepsilon_{ccfi} + \Delta\varepsilon_{ccdi} \quad \text{Eq - 22}$$

7.1.2 DEFORMAÇÃO DE FLUÊNCIA RÁPIDA.

$\Delta\varepsilon_{cca}$ = depende exclusivamente da diferença de tensão entre o instante em estudo e o instante anterior, à direita do intervalo, e do seu respectivo coeficiente de fluência rápida φ_a :

- No instante t_1 : $\Delta\varepsilon_{cca}(t_1) = \frac{(\sigma_1^d - \sigma_0^d)\varphi_a(t_1)}{E_{c,28}};$ Eq - 23

- No instante t_2 : $\Delta\varepsilon_{cca}(t_2) = \frac{(\sigma_2^d - \sigma_1^d)\varphi_a(t_2)}{E_{c,28}};$ Eq - 24

- Em um instante genérico t_j : $\Delta\varepsilon_{cca}(t_j) = \frac{(\sigma_j^d - \sigma_{j-1}^d)\varphi_a(t_j)}{E_{c,28}}$ Eq - 25

7.1.3 DEFORMAÇÃO DE FLUÊNCIA LENTA.

ε_{ccf} e ε_{ccd} dependem da somatória de várias parcelas: a primeira sempre depende da diferença de tensão entre o instante em estudo e o imediatamente anterior, à direita do intervalo; e as demais dependem do histórico de carregamento

entre os instantes anteriores e o em estudo. Elas também dependem de seus respectivos coeficientes de fluência φ_f e φ_d , conforme equações a seguir:

- Entre os instantes t_1 e t_2 :

$$\Delta \varepsilon_{ccf}(t_2, t_1) = \left[\frac{(\sigma^d_1 - \sigma^d_0) \cdot \varphi_f(t_2, t_1)}{E_{c,28}} \right] \quad \text{Eq - 26}$$

- Entre os instantes t_2 e t_3 :

$$\Delta \varepsilon_{ccf}(t_3, t_2) = \left[\frac{(\sigma^d_2 - \sigma^d_1) \cdot \varphi_f(t_3, t_2)}{E_{c,28}} + \frac{(\sigma^d_1 - \sigma^d_0) \cdot \overbrace{(\varphi_f(t_3, t_1) - \varphi_f(t_2, t_1))}^{\varphi_f(t_3, t_2) \text{ para tensão iniciada em } t_1}}{E_{c,28}} \right] \quad \text{Eq - 27}$$

- Entre os instantes t_3 e t_4 :

$$\Delta \varepsilon_{ccf}(t_4, t_3) = \left[\frac{(\sigma^d_3 - \sigma^d_2) \cdot \varphi_f(t_4, t_3)}{E_{c,28}} + \frac{(\sigma^d_2 - \sigma^d_1) \cdot \overbrace{(\varphi_f(t_4, t_2) - \varphi_f(t_3, t_2))}^{\varphi_f(t_4, t_3) \text{ para tensão iniciada em } t_2}}{E_{c,28}} + \frac{(\sigma^d_1 - \sigma^d_0) \cdot \overbrace{(\varphi_f(t_4, t_1) - \varphi_f(t_3, t_1))}^{\varphi_f(t_4, t_3) \text{ para carga iniciada em } t_1}}{E_{c,28}} \right]$$

Eq - 28

- Generalizando entre os instantes t_j e o imediatamente anterior t_{j-1} :

$$\Delta \varepsilon_{ccf}(t_j, t_{j-1}) = \sum_{i=1}^{j-1} \left[\frac{(\sigma^d_i - \sigma^d_{i-1}) \cdot [\varphi_f(t_j, t_i) - \varphi_f(t_{j-1}, t_i)]}{E_{c,28}} \right] \quad \text{Eq - 29}$$

O mesmo ocorre com a deformação lenta reversível, como segue:

- Entre os instantes t_1 e t_2 :

$$\Delta \varepsilon_{ccd}(t_2, t_1) = \left[\frac{(\sigma^d_1 - \sigma^d_0) \cdot \varphi_d(t_2, t_1)}{E_{c,28}} \right] \quad \text{Eq - 30}$$

- Entre os instantes t_2 e t_3 :

$$\Delta \varepsilon_{ccd}(t_3, t_2) = \left[\frac{(\sigma^d_2 - \sigma^d_1) \cdot \varphi_d(t_3, t_2)}{E_{c,28}} + \frac{(\sigma^d_1 - \sigma^d_0) \cdot \overbrace{0 (\varphi_d(t_3, t_1) - \varphi_d(t_2, t_1))}^{\varphi_d(t_3, t_2) \text{ para carga iniciada em } t_1}}{E_{c,28}} \right]$$

Eq - 31

- Entre os instantes t_3 e t_4 :

$$\Delta \varepsilon_{ccd}(t_4, t_3) = \left[\frac{(\sigma^d_3 - \sigma^d_2) \cdot \varphi_d(t_4, t_3)}{E_{c,28}} + \frac{(\sigma^d_2 - \sigma^d_1) \cdot \overbrace{(\varphi_d(t_4, t_2) - \varphi_d(t_3, t_2))}^{\varphi_d(t_4, t_3) \text{ para carga iniciada em } t_2}}{E_{c,28}} + \right. \\ \left. + \frac{(\sigma^d_1 - \sigma^d_0) \cdot \overbrace{(\varphi_d(t_4, t_1) - \varphi_d(t_3, t_1))}^{\varphi_d(t_4, t_3) \text{ para carga iniciada em } t_1}}{E_{c,28}} \right]$$

Eq - 32

- Generalizando entre os instantes t_j e o imediatamente anterior t_{j-1} :

$$\Delta \varepsilon_{ccd}(t_j, t_{j-1}) = \sum_{i=1}^{j-1} \left[\frac{(\sigma^d_i - \sigma^d_{i-1}) \cdot [\varphi_d(t_j, t_i) - \varphi_d(t_{j-1}, t_i)]}{E_{c,28}} \right] \quad \text{Eq - 33}$$

7.1.4 TENSÃO RESULTANTE

Fazendo a integração numérica ao longo do tempo obtém-se o Gráfico 19, onde a linha contínua representa a tensão resultante e a tracejada, os passos de integração para obtenção da curva resultante.

Gráfico 19: Tensão resultante do processo de integração numérica

7.2 COMPARAÇÃO ENTRE A TENSÃO RESULTANTE DO PROCESSO ITERATIVO X INTEGRAÇÃO NUMÉRICA

Tomando como referência a mesma entrada de dados (Tabela 13), é possível comparar os dois processos (iterativo e integração numérica), como segue:

Tabela 13: Entrada de dados.

DESCRIÇÃO	VALOR
Umidade relativa do ar [U] (%)	70
Altura do elemento de concreto [h] (cm)	5
Largura do elemento [L] (cm)	100
Perímetro em contato com o ar [u_{ar}] (cm)	100
Coeficiente função da velocidade de endurecimento do concreto [α]	2 (CPI e II)
Resistência à compressão do concreto aos 28 dias [$f_{ck,28}$] (MPa)	25
Abatimento [ABT]	5 a 9
Temperatura média diária [T] °C	25
Idade inicial [t_o] dias	0
Idade final [t] dias	30

Existe uma diferença de tensão resultante ($<5\%$) entre os dois processos, onde os maiores valores ao longo do tempo correspondem aos do processo iterativo, conforme Gráfico 20. Com essa boa proximidade entre os mesmos considera-se a validação do processo iterativo.

Gráfico 20: Comparação entre processo iterativo e integração numérica

8 - MODELO SIMPLIFICADO

Utilizando o conceito do ajuste do módulo de elasticidade pelo coeficiente de envelhecimento do item 6, pode-se encontrar a tensão de retração com fluência σ_R resolvendo a estrutura da Figura 5 do item 3 considerando um módulo de

elasticidade reduzido $\frac{E_{c,28}}{(1 + \chi(t_\infty, t_0)\phi(t_\infty, t_0))}$, conforme Figura 26.

Caregamento externo = $\epsilon_{cs\infty}$

Equação de compatibilidade de deslocamento

$$\delta_{\text{mola}} = \Delta L - \delta_{\text{barra}}$$

$$X/k = \epsilon_{cs\infty} \cdot L - \frac{X \cdot L}{\frac{E_{c,28}}{1 + \chi(t_\infty, t_0)\phi(t_\infty, t_0)} \cdot A}$$

$$\text{Portanto: } \sigma_R = \frac{X}{A} = \frac{\epsilon_{cs\infty} \cdot L}{\frac{L}{\frac{E_{c,28}}{1 + \chi(t_\infty, t_0)\phi(t_\infty, t_0)}} + \frac{A}{k}}$$

Figura 26: Método dos esforços no elemento com restrição variável e módulo de elasticidade reduzido.

Onde:

$E_{c,28}$ = Módulo de elasticidade da barra aos 28 dias;

A = Área da seção transversal da barra;

L = Comprimento da barra;

k = coeficiente de mola;

$\varphi(t_\infty, t_0)$ = coeficiente de fluência do instante de carregamento t_0 até o tempo infinito;

$\chi(t_\infty, t_0)$ = coeficiente de envelhecimento do mesmo período de φ ;

Rearranjando a expressão da tensão resultante (σ_R) da Figura 26, tem-se:

$$\sigma_R = \frac{X}{A} = \frac{\varepsilon_{cs\infty} L}{L \left(\frac{1 + \chi(t_\infty, t_0) \varphi(t_\infty, t_0)}{E_{c,28}} + \frac{A}{kL} \right)} = \frac{\varepsilon_{cs\infty} E_{c,28}}{\left(1 + \chi(t_\infty, t_0) \varphi(t_\infty, t_0) + \frac{E_{c,28} A}{Lk} \right)} \quad \text{Eq - 34}$$

E introduzindo a definição de grau de restrição (GR) do item 3, tem-se:

$$\sigma_R = \frac{\varepsilon_{cs\infty} E}{\left(1 + \chi(t_\infty, t_0) \varphi(t_\infty, t_0) + \frac{1}{GR} \right)} \quad \text{Eq - 35}$$

Onde:

$$\frac{1}{\left(1 + \chi(t_\infty, t_0) \varphi(t_\infty, t_0) + \left(\frac{1}{GR} \right) \right)} = \text{é o fator de redução do módulo de elasticidade aos 28}$$

dias,

Assim, introduz-se no modelo de TROST-BAZANT a restrição da base.

Isolando o χ na Equação 35 tem-se:

$$\chi(t_\infty, t_0) = \left(\frac{\varepsilon_{cs\infty} E_{c,28}}{\sigma_R} - 1 - \frac{1}{GR} \right) \frac{1}{\varphi(t_\infty, t_0)} \quad \text{Eq - 36}$$

Como são conhecidos todos os valores, inclusive σ_R determinada no item 7 pode-se determinar o valor do coeficiente de envelhecimento χ para um grau de restrição GR conforme Apêndice C e Tabela 14.

Conforme Apêndice C se pode observar que χ aumenta em até 2,0 vezes com a diminuição de U (90 para 50%); em até 1,8 vezes com a redução de h (15 para 5 cm); em até 1,7 vezes com o tipo de cimento [(CPIII e IV)>(CPI e II)>(CPV)]; em até

1,4 vezes com o aumento de GR (0,1 para 10.000) sendo que o máximo aumento (1,4 vezes) ocorre entre GR=0,1 e GR=10; em até 1,2 vezes com a diminuição do ABT (10-15 para 0-4 cm); em até 1,1 com o aumento de T (15 para 35°C); e praticamente não aumenta (<1%) com o aumento do f_{ck} (25 para 35 MPa), pois o mesmo afeta igualmente $E_{c,28}$, σ_R e tem pouca influência sobre φ , conforme item 6.2.2.

Tabela 14: Coeficiente de envelhecimento χ do concreto

Valores de χ para $f_{ck}=25$ MPa, ABT(10-15) e CPI e II										
T [°C]	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
		Altura do elemento h [cm]								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
15	0,1	0,35	0,31	0,30	0,44	0,36	0,32	0,47	0,38	0,34
	1	0,35	0,30	0,29	0,47	0,37	0,33	0,54	0,40	0,35
	10	0,35	0,29	0,28	0,49	0,37	0,32	0,57	0,41	0,35
	100	0,35	0,29	0,28	0,49	0,37	0,32	0,57	0,41	0,35
	1000	0,35	0,29	0,28	0,49	0,37	0,32	0,57	0,41	0,35
25	0,1	0,36	0,31	0,29	0,44	0,36	0,33	0,48	0,39	0,34
	1	0,36	0,30	0,29	0,48	0,38	0,33	0,54	0,41	0,35
	10	0,36	0,30	0,28	0,50	0,38	0,33	0,58	0,42	0,36
	100	0,36	0,30	0,28	0,50	0,38	0,33	0,58	0,42	0,36
	1000	0,36	0,30	0,28	0,50	0,38	0,33	0,58	0,42	0,36
35	0,1	0,36	0,31	0,29	0,45	0,37	0,33	0,48	0,39	0,35
	1	0,36	0,31	0,29	0,48	0,38	0,34	0,55	0,41	0,36
	10	0,36	0,31	0,28	0,50	0,39	0,34	0,58	0,43	0,36
	100	0,36	0,30	0,28	0,51	0,39	0,34	0,58	0,43	0,36
	1000	0,36	0,30	0,28	0,51	0,39	0,34	0,58	0,43	0,36
Valores de χ para T=25°C, $f_{ck}=35$ MPa CPI e II										
ABT	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
		Altura do elemento h [cm]								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
0-4	0,1	0,40	0,35	0,34	0,47	0,40	0,36	0,50	0,41	0,37
	1	0,40	0,35	0,33	0,49	0,40	0,36	0,54	0,42	0,37
	10	0,40	0,35	0,32	0,51	0,41	0,36	0,57	0,43	0,38
	100	0,40	0,34	0,32	0,51	0,41	0,36	0,57	0,44	0,38
	1000	0,40	0,34	0,32	0,51	0,41	0,36	0,57	0,44	0,38
5-9	0,1	0,37	0,33	0,31	0,45	0,38	0,34	0,48	0,39	0,35
	1	0,38	0,32	0,31	0,48	0,39	0,34	0,54	0,41	0,36
	10	0,37	0,32	0,30	0,50	0,39	0,34	0,57	0,43	0,37
	100	0,37	0,32	0,30	0,50	0,39	0,34	0,57	0,43	0,37
	1000	0,37	0,32	0,30	0,50	0,39	0,34	0,57	0,43	0,37
10-15	0,1	0,36	0,31	0,29	0,44	0,36	0,33	0,48	0,39	0,34
	1	0,36	0,30	0,29	0,48	0,38	0,33	0,54	0,41	0,35
	10	0,36	0,30	0,28	0,50	0,38	0,33	0,58	0,42	0,36
	100	0,36	0,30	0,28	0,50	0,38	0,33	0,58	0,42	0,36
	1000	0,36	0,30	0,28	0,50	0,38	0,33	0,58	0,42	0,36

9 - APLICAÇÕES

Para a utilização dos resultados encontrados, é fundamental a determinação do Grau de Restrição da fibra mais solicitada do concreto da capa, a qual está situada, junto à interface entre o concreto novo e a base [9].

Considerando-se o problema fundamental descrito no item 3, sem o efeito da fluência, é possível escrever:

$$\sigma_{cs} = \frac{\varepsilon_{cs} E_{ci}}{1 + \frac{E_{ci}}{E_{c,28}} GR} \quad \text{Eq - 37}$$

Retirando dessa expressão o valor de GR, tem-se:

$$GR = \frac{1}{\left(\frac{\varepsilon_{cs} E_{ci}}{\sigma_{cs}} - 1\right) \frac{E_{c28}}{E_{ci}}}, \quad \text{Eq - 38}$$

e tomando-se para E_{ci} o valor de E_{c28} , tem-se:

$$GR = \frac{1}{\left(\frac{\varepsilon_{cs} E_{c28}}{\sigma_{cs}} - 1\right)} \quad \text{Eq - 39}$$

Dessa forma é possível definir o Grau de Restrição para a fibra mais tracionada, através da Equação 39, onde:

σ_{cs} = Tensão na fibra mais solicitada da estrutura, para um carregamento de retração ε_{cs} sem fluência, na capa, adotando-se para o concreto novo o módulo E_{c28} .

De posse de GR pode-se definir a tensão de retração com fluência σ_R , diretamente, a partir das tabelas constantes no Apêndice D.

Alternativamente pode-se determinar σ_R resolvendo novamente a estrutura, considerando o efeito da fluência reduzindo-se o módulo de deformação do concreto novo a:

$\frac{E_{c28}}{(1 + \chi(t_\infty, t_0) \varphi(t_\infty, t_0))}$, onde $\chi(t_\infty, t_0)$ é determinado a partir das tabelas constantes no Apêndice C.

Pode-se ainda obter o mesmo resultado da tensão resultante σ_R a partir do modelo simplificado definido no item 8:

$$\sigma_R = \frac{\varepsilon_{cs\infty} E_{c28}}{\left(1 + \chi(t_\infty, t_0) \varphi(t_\infty, t_0) + \frac{1}{GR}\right)} \quad \text{Eq - 40}$$

9.1 EXEMPLO NUMÉRICO

Para melhor ilustrar a aplicação deste trabalho e os procedimentos do modelo simplificado fez-se um exemplo numérico com uma laje pré-moldada tipo TT (pi) com uma capa de solidarização, como segue:

- Geometria da seção transversal:

Figura 27: Seção transversal de laje TT de 3x0,65 m com capa de 5 cm

- Geometria da seção transversal equivalente (largura unitária = 1m): todas as larguras da Figura 27 foram divididas por 3 m e as nervuras unificadas;

Obs: Medidas em metro (m).

Figura 28: Seção transversal para larguras unitária

- Entrada de dados:

Tabela 15: Entrada de dados para verificação do modelo simplificado

DESCRIÇÃO	VALOR
Umidade relativa do ar [U] (%)	70
Altura do elemento de concreto [h] (cm)	5
Largura do elemento [L] (cm)	100
Perímetro em contato com o ar [u_{ar}] (cm)	100
Coefficiente função da velocidade de endurecimento do concreto [α]	2 (CPI e II)
Resistência à compressão do concreto da capa aos 28 dias [$f_{ck,28}$] (MPa)	25
Resistência à compressão do concreto da laje TT aos 28 dias [$f_{ck,28}$] (MPa)	45
Abatimento [ABT]	10 a 15
Temperatura média diária [T] °C	25
Idade inicial (t_0) [dias]	0
Idade final (t) [dias]	3000
Coefficiente de dilatação térmica do concreto (1/°C)	10^{-5}

- Valores calculados:

$$\varepsilon_{CS\infty} = -383,3 \times 10^{-6} \text{ (Apêndice A)}$$

$$E_{c,28 \text{ (capa)}} = 5600 \sqrt{f_{ck}} = 28,0 \text{ GPa}$$

$$E_{c,28 \text{ (Laje)}} = 5600 \sqrt{f_{ck}} = 37,6 \text{ GPa}$$

$$\varphi(t, t_0) = 4,18 \text{ (Apêndice E)}$$

$$\Delta T = \frac{\Delta L}{L} \frac{1}{\alpha} = \frac{\varepsilon_{cs90}}{\alpha} \Delta L = -38,3 \text{ }^{\circ}\text{C} = \text{Esforço uniaxial (variação de temperatura) de retração por secagem sem consideração da fluência.}$$

- Modelagem estrutural:

Utilizando um software de análise estrutural em elementos finitos (STRAP-Structural Analysis Programs, Versão 2009) modelou-se a estrutura de seção transversal unitária para dois comprimentos 6 e 3 m, visando checar influência dos mesmos (Figura 29), como segue:

Figura 29: Vista renderizada da modelagem no STRAP da viga TT + capa para comprimentos de 6 e 3 m.

Com o esforço uniaxial ($\Delta T = -38,3^{\circ}\text{C}$) aplicado na estrutura modelada obteve-se as seguintes tensões axiais sem fluência (Figura 30), cujo sinal positivo refere-se à tração e negativo à compressão.

+SX CONTORNOS (N/mm²) CARREG. N°1 Delta T = -38.33°C

Figura 30: Tensões nos elementos finitos na direção horizontal para a laje de 6 e 3 m.

Aumentando o zoom (Figura 31) para maior nitidez, tem-se que a tensão de tração axial, máxima sem fluência na capa é da ordem de 6,86 MPa (N/mm²) tanto no caso da viga de 6 m quanto na de 3 m. Com isso, pode-se trabalhar com qualquer um dos dois vãos.

+SX CONTORNOS (N/mm²) CARREG. N°1 Delta T = -38.33°C

Figura 31: Tensões nos elementos finitos na direção horizontal para a laje de 6 e 3 m (zoom aumentado)

A partir desta tensão pode-se calcular o grau de restrição GR, como segue:

$$GR = \frac{1}{\frac{\varepsilon_{cs} E_{c,28}}{\sigma_{cs}} - 1} = \frac{1}{\frac{38,33 \times 10^{-5} 28000}{6,86} - 1} = 1,78$$

A partir de GR é possível determinar o valor do coeficiente de envelhecimento $\chi = 0,48$ através do Apêndice C.

Reprocessando a estrutura com o módulo de elasticidade da capa ajustado conforme modelo simplificado $E_{c,28(capa)} = \frac{E_{c,28(capa)}}{1 + \chi(t_{\infty}, t_o) \varphi(t_{\infty}, t_o)} = 9,31 \text{ GPa}$, obtêm-se uma tensão de tração máxima com fluência (σ_R) de 3,00 MPa, conforme Figura 32.

+SX CONTORNOS (N/mm**2) CARREG. N°1 Delta T = -38.33°C

Figura 32: Tensões nos elementos finitos na direção horizontal para a laje de 3 m com o módulo de elasticidade da capa reduzido para 9,31 GPa.

Utilizando o Modelo Simplificado pode-se determinar σ_R como segue:

$$\sigma_R = \varepsilon_{cs} \left(\frac{E_{c,28}}{\chi(t, t_o) \varphi(t, t_o) + 1 + \frac{1}{GR}} \right) = 383,3 \cdot 10^{-6} \left(\frac{28000}{0,48 \cdot 4,18 + 1 + \frac{1}{1,78}} \right) = 3,00 \text{ MPa}$$

Pode-se observar que a tensão obtida pelo modelo simplificado, o qual foi aplicado na estrutura em questão, resulta igual àquele obtido no problema fundamental com um grau de liberdade (Figura 32).

Utilizando as tabelas do método iterativo Apêndice D tem-se para U=70 %, h=5 cm, T=25°C, ABT de 10-15 cm e CPI e II:

$$GR=1 \rightarrow \sigma_R = 2,68 \text{ MPa}$$

GR=10 $\rightarrow \sigma_R = 3,37 \text{ MPa}$

Para GR=1,78, fazendo interpolação logarítmica, obtêm-se $\sigma_R = 2,85$.

Reprocessando o método iterativo para GR=1,78 obtêm-se $\sigma_R = 2,98 \text{ MPa}$.

- Verificação da fissuração:

A tensão de tração resistente do concreto da capa aos 28 dias é dada por:

$f_{ctm} = 0,3\sqrt{f_{ck,28}^2} = 2,565 \text{ MPa}$ e para o tempo infinito (3000 dias) é:

$f_{ctm}(t, t_0) = f_{ctm}(3000, 0) = 0,3\sqrt{f_{ck,3000}^2} = 3,224 \text{ MPa}$. Como a tensão resistente estimada da capa aos 3000 dias é maior que o esforço uniaxial de retração com fluência na mesma idade conclui-se que não haverá fissuração do concreto.

10 - CONCLUSÃO

A Tabela 16 expressa a quantidade máxima de vezes que a variação do domínio de cada parâmetro aumenta a respectiva deformação de retração por secagem ε_{cs} , as tensões de retração por secagem, σ_{cs} , e a resultante, σ_R , os coeficientes de fluência, φ , e de envelhecimento, χ .

Tabela 16: Influência da variação dos parâmetros sobre esforços de retração, resultante, coeficiente de fluência e envelhecimento.

Parâmetros	Variação	Quantidade de vezes que aumentam os esforços e coeficientes				
		ε_{cs}	σ_{cs}	φ	σ_R	χ
Umidade relativa do ar [U]	90 a 50 %	7,3	7,3	2,6	6,9	2,0
Altura do elemento de concreto [h]	15 a 5 cm	1,8	1,8	1,3	1,7	1,8
Abatimento [ABT]	0-4 a 10-15 cm	1,7	1,7	1,6	1,7	1,2
Temperatura ambiente [T]	15 a 35 °C	1,4	1,4	1,1	1,4	1,1
Tipo de Cimento	CPI e II a CPV	---	1,1	1,1	1,5	1,7
Grau de restrição da base [GR]	0,1 a 10.000	---	12,6	---	8,3	1,4
Resistência característica à compressão do concreto [f_{ck}]	25 a 35 MPa	---	1,2	1	1,2	1

Embasado na Tabela 16 observa-se que:

- Para ε_{cs} , φ e χ o parâmetro mais significativo é U, pois, sua diminuição de 90 para 50% pode aumentar a intensidade da deformação e dos coeficientes em até 7,3, 2,6 e 2,0 vezes respectivamente, porém, U é um parâmetro difícil de controlar já que é uma característica do ambiente onde está situado o elemento de concreto;
- σ_{cs} é proporcional a ε_{cs} e conseqüentemente é influenciado pelos parâmetros nas mesmas magnitudes, mas seu parâmetro mais significativo, assim como o de σ_R , é GR, o qual aumenta a tensão em até 12,6 e 8,3 vezes respectivamente, aumentando de 0,1 para 10.000. Este parâmetro é possível controlar já que depende das características de rigidez da estrutura;
- O tipo de cimento tem pouca influência sobre o fenômeno da retração e fluência, representados por σ_{cs} e φ , mas tem boa influência sobre a tensão resultante, σ_R , podendo aumentá-la em até 1,5 vezes e muita

influência sobre o coeficiente de envelhecimento, χ , podendo aumentá-lo em até 1,7 vezes;

- O abatimento, ABT, e a altura do elemento, h , influenciam de maneira semelhante o fenômeno da retração e a tensão resultante, aumentando-os em cerca de 1,7 vezes, tal influência não é significativa quando comparada a dos outros parâmetros. Já para o coeficiente de fluência o ABT é mais significativo (1,6 vezes) e para o coeficiente de envelhecimento a altura h mostra-se ter mais significância (1,8 vezes);
- A temperatura ambiente, T , e a resistência característica à compressão, f_{ck} , são os que menos influenciam os esforços e coeficientes que dependem dos mesmos podendo até serem desconsiderados para φ e χ .

Comparando os valores de σ_{cs} com os de σ_R , tabelados nos Apêndices B e D respectivamente, observa-se que os valores de σ_R representam uma redução de até 5,1 vezes no valor de σ_{cs} , sendo que essa redução é proporcional a tensão aplicada, ou seja, quanto maior σ_{cs} maior será sua redução. Ressalta-se que a maior redução não se dá para o maior valor de σ_{cs} , pois, alguns parâmetros os influenciam de maneira diferente conforme Tabela 16.

O grau de restrição, GR, pode ser considerado como restrição total (engaste perfeito) por provocar pouca variabilidade a partir de:

- GR=1.000 para tensão de retração, σ_{cs} ;
- GR=100 para tensão resultante, σ_R ;
- GR=10 para coeficiente de envelhecimento, χ .

Pode-se com representatividade adotar o processo iterativo como referência para o cálculo da tensão ao longo do tempo devida à retração restringida considerando o efeito da fluência.

No exemplo numérico realizado, as tensões obtidas aplicando-se o método simplificado na estrutura apresentada são iguais as encontradas resolvendo-se o problema fundamental com um grau de liberdade. Com isso, para determinar as tensões resultantes, σ_R , devido ao fenômeno de retração do concreto na estrutura pode-se:

- Determinar o grau de restrição da fibra mais solicitada através da

expressão: $GR = \frac{1}{(\frac{\varepsilon_{cs} E_{c28}}{\sigma_{cs}} - 1)}$, conforme proposto no item 9, e;

- Utilizar o apêndice D fazendo interpolação logarítmica para os valores de GR, ou;
- Processar a estrutura considerando, para o elemento de concreto novo (capa), um módulo de elasticidade ajustado dado por

$$E_{c,28(ajustado)} = \frac{E_{c,28(capa)}}{1 + \chi(t_{\infty}, t_o) \varphi(t_{\infty}, t_o)}, \text{ onde } \chi(t_{\infty}, t_o) \text{ e } \varphi(t_{\infty}, t_o) \text{ encontram-se}$$

tabelados nos Apêndices C e E, respectivamente.

Por fim, seguem sugestões para trabalhos futuros:

- Ampliar a faixa dos parâmetros estudados;
- Incorporar a deformação lenta do concreto da base;
- Ampliar os exemplos de aplicação comparando-os com resultados de modelos físicos;
- Estudar o estado de tensões na interface entre os dois concretos, visando avaliar a resistência da junta.

11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS⁽¹⁾

- [1] DEBS, Mounir Khalil El . **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EESC-USP, 2000. v. 1. 456 p.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. NBR 9062. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- [3] NEJADI, S. GILBERT, I. **Shrinkage Cracking and Crack Control in Restrained Reinforced Concrete Members**. ACI Structural Journal, V.101. Nov/Dez 2004.
- [4] KIM, H. S. CHO, S. H. **Shrinkage stress analysis of concrete slabs with shrinkage strips in a multistory building**. Computers and Structures. 2004.
- [5] BISSONNETTE, B. at all. **Drying Shrinkage, Curling, and Joint Opening of Slabs-on-Ground**. ACI Materials Journal, V.104 Maio/Junho 2007.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. NBR 6118. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [7] TIMOSHENKO, S. P. GERE, J.E. **Mecânica dos sólidos** Timoshenko/Gere. Livros Técnicos e Científicos. V.2. Rio de Janeiro. RJ. 1982.
- [8] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.; **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais**. IBRACON. 3ª. Ed, São Paulo 2008.
- [9] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (ACI 207.2R.-07). **Report on Termal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete**, ACI Committee 207, 2007.
- [10] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (ACI 209.1R.-05). **Report on Factor Affecting Shrinkage and Creep of Hardened Concrete**, ACI Committee 209, 2005.
- [11] BAZANT, Z. P . **Prediction of concrete creep and shrinkage: Past, Present and Future** . NUCLEAR ENGINEERING AND DESIGN, 2000.
- [12] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (ACI 209R.-92 Reapproved 2010). **Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in concrete Structures**, ACI Committee 209, 2010.
- [13] GARDNER, N. J.; WEISS, J.. **Shrinkage and Creep of Concrete**. Michigan, American Concrete Institue- ACI, 2005.

⁽¹⁾ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 6023:2002 – Informação e Documentação – Referências – Elaboração.

-
- [14] CEB-FIP. **CEB-FIP Model Code 1990** -, Bulletin D'Information, No 203, Comité Euro-International du Beton (CEB), 1990.
- [15] BAZANT, Z. P . **Mathematical Modeling of Creep and Shrinkage of Concrete**. New York, J. Wiley Sons, 1988.
- [16] AL-MANASERR, A.. **The Adam Neville Symposium: Creep and Shrinkage – Structural Design Effects**. Michigan, American Concrete Institute- ACI, 2000.
- [17] KATAOKA, L. T.; **Análise da deformabilidade por fluência e retração e sua utilização na monitoração de pilares de concreto**. São Paulo, SP. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2010.
- [18] GHALI, A.; FAVRE, R. **Concrete structures: stress and deformations**. 2ed. New York; Spon, 1994.
- [19] BAZANT, Z. P . **Prediction of concrete creep effects using Age-Adjust Modulus Method**. ACI JOURNAL, 1972.

APÊNDICE A.- Tabelas com as deformações de retração ε_{cs} ($t=3000, t_0=0$).
 Valores em micro deformações [10^{-6}]

ABT	T [°C]	U=90%			U=70%			U=50%		
		Altura do elemento h [cm]								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
0-4	15	67	50	38	227	192	171	356	302	273
	25	70	57	46	230	198	180	359	308	282
	35	72	61	51	231	201	185	360	311	287
5-9	15	89	66	50	303	256	228	474	403	364
	25	94	75	61	307	264	240	478	411	376
	35	96	81	68	308	267	247	480	414	382
10-15	15	111	83	63	379	320	286	593	504	455
	25	117	94	76	383	330	301	598	513	470
	35	120	101	86	385	334	308	600	518	478

APÊNDICE B.- Tabela com as tensões de retração σ_{cs} ($t=3000, t_0=0$).
Valores em MPa.

C25												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
0-4	15	CPI e II	0,1	0,17	0,13	0,10	0,58	0,49	0,44	0,90	0,77	0,70
			1	0,97	0,73	0,55	3,20	2,76	2,48	4,96	4,31	3,93
			10	1,81	1,38	1,05	5,89	5,15	4,66	9,04	7,99	7,34
			100	1,99	1,51	1,15	6,43	5,64	5,11	9,85	8,74	8,04
			1000	2,01	1,52	1,16	6,49	5,69	5,16	9,94	8,82	8,12
			10000	2,01	1,53	1,16	6,50	5,70	5,16	9,95	8,83	8,13
		CPIII e IV	0,1	0,17	0,13	0,10	0,58	0,49	0,44	0,90	0,77	0,70
			1	0,98	0,74	0,57	3,22	2,80	2,53	4,95	4,35	3,99
			10	1,88	1,44	1,10	5,97	5,30	4,83	9,08	8,17	7,57
			100	2,07	1,58	1,21	6,54	5,82	5,31	9,92	8,97	8,32
			1000	2,09	1,60	1,22	6,60	5,88	5,37	10,01	9,05	8,40
			10000	2,09	1,60	1,22	6,60	5,89	5,37	10,02	9,06	8,41
		CPV	0,1	0,17	0,13	0,10	0,58	0,49	0,44	0,90	0,77	0,70
			1	0,96	0,72	0,55	3,20	2,75	2,47	4,96	4,29	3,91
			10	1,79	1,35	1,03	5,87	5,09	4,60	9,03	7,93	7,26
			100	1,96	1,48	1,13	6,40	5,57	5,03	9,84	8,66	7,94
			1000	1,98	1,50	1,14	6,46	5,62	5,08	9,93	8,74	8,01
			10000	1,98	1,50	1,14	6,46	5,63	5,09	9,94	8,75	8,02
	25	CPI e II	0,1	0,18	0,14	0,12	0,58	0,51	0,46	0,91	0,79	0,72
			1	1,01	0,83	0,67	3,22	2,83	2,61	4,95	4,37	4,05
			10	1,90	1,56	1,27	5,88	5,26	4,88	8,97	8,06	7,53
			100	2,08	1,71	1,39	6,42	5,75	5,35	9,77	8,81	8,24
			1000	2,10	1,73	1,41	6,48	5,81	5,40	9,86	8,89	8,32
			10000	2,10	1,73	1,41	6,48	5,81	5,40	9,87	8,90	8,33
		CPIII e IV	0,1	0,18	0,15	0,12	0,58	0,51	0,46	0,91	0,79	0,72
			1	1,03	0,84	0,69	3,22	2,86	2,65	4,92	4,40	4,10
			10	1,96	1,63	1,33	5,93	5,39	5,04	8,95	8,21	7,74
			100	2,16	1,79	1,46	6,48	5,92	5,54	9,76	8,99	8,50
			1000	2,18	1,81	1,48	6,54	5,98	5,60	9,85	9,08	8,58
			10000	2,18	1,81	1,48	6,55	5,98	5,61	9,86	9,09	8,59
CPV	0,1	0,18	0,14	0,12	0,58	0,50	0,46	0,91	0,78	0,72		
	1	1,01	0,82	0,66	3,22	2,82	2,59	4,96	4,36	4,03		
	10	1,87	1,53	1,25	5,87	5,21	4,82	8,99	8,01	7,46		
	100	2,05	1,68	1,37	6,40	5,69	5,27	9,79	8,75	8,15		
	1000	2,07	1,70	1,38	6,46	5,75	5,32	9,88	8,83	8,23		
	10000	2,07	1,70	1,38	6,47	5,75	5,33	9,88	8,84	8,24		
35	CPI e II	0,1	0,18	0,16	0,13	0,59	0,51	0,47	0,91	0,79	0,73	
		1	1,04	0,88	0,75	3,21	2,86	2,67	4,93	4,38	4,10	
		10	1,94	1,67	1,42	5,85	5,30	4,98	8,89	8,07	7,61	
		100	2,12	1,83	1,56	6,38	5,79	5,46	9,68	8,81	8,32	
		1000	2,14	1,85	1,57	6,44	5,85	5,51	9,76	8,89	8,40	
		10000	2,14	1,85	1,58	6,44	5,85	5,51	9,77	8,90	8,41	
	CPIII e IV	0,1	0,18	0,16	0,13	0,59	0,51	0,47	0,91	0,79	0,73	
		1	1,05	0,90	0,77	3,20	2,89	2,71	4,88	4,40	4,14	
		10	2,00	1,74	1,48	5,87	5,41	5,14	8,82	8,18	7,79	
		100	2,19	1,91	1,63	6,41	5,94	5,65	9,61	8,95	8,55	
		1000	2,22	1,93	1,65	6,47	6,00	5,70	9,69	9,04	8,63	
		10000	2,22	1,94	1,65	6,47	6,00	5,71	9,70	9,05	8,64	
	CPV	0,1	0,18	0,16	0,13	0,59	0,51	0,47	0,91	0,79	0,73	
		1	1,03	0,88	0,74	3,22	2,85	2,65	4,95	4,38	4,08	
		10	1,91	1,64	1,40	5,85	5,25	4,92	8,93	8,03	7,54	
		100	2,09	1,80	1,53	6,38	5,74	5,39	9,72	8,76	8,24	
		1000	2,11	1,82	1,54	6,43	5,79	5,44	9,80	8,84	8,32	
		10000	2,12	1,82	1,55	6,44	5,80	5,44	9,81	8,85	8,32	

Continua

C25												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
5-9	15	CPI e II	0,1	0,23	0,17	0,13	0,77	0,65	0,59	1,20	1,03	0,93
			1	1,29	0,97	0,74	4,27	3,68	3,31	6,61	5,75	5,24
			10	2,42	1,83	1,40	7,86	6,87	6,21	12,05	10,65	9,79
			100	2,65	2,01	1,53	8,58	7,52	6,81	13,14	11,65	10,72
			1000	2,68	2,03	1,55	8,66	7,59	6,88	13,26	11,76	10,82
			10000	2,68	2,03	1,55	8,67	7,60	6,89	13,27	11,77	10,83
		CPIII e IV	0,1	0,23	0,17	0,13	0,77	0,66	0,59	1,20	1,03	0,93
			1	1,31	0,99	0,76	4,29	3,73	3,37	6,59	5,80	5,32
			10	2,51	1,91	1,46	7,96	7,07	6,44	12,10	10,90	10,09
			100	2,76	2,11	1,61	8,71	7,76	7,09	13,22	11,95	11,09
			1000	2,78	2,13	1,63	8,80	7,84	7,16	13,35	12,07	11,20
			10000	2,79	2,13	1,63	8,81	7,85	7,17	13,36	12,08	11,21
		CPV	0,1	0,23	0,17	0,13	0,77	0,65	0,58	1,21	1,03	0,93
			1	1,28	0,96	0,73	4,27	3,66	3,29	6,61	5,73	5,21
			10	2,39	1,80	1,37	7,82	6,79	6,13	12,04	10,57	9,68
			100	2,61	1,98	1,51	8,53	7,43	6,71	13,12	11,55	10,58
			1000	2,64	2,00	1,52	8,61	7,50	6,78	13,24	11,65	10,68
			10000	2,64	2,00	1,52	8,62	7,51	6,78	13,25	11,66	10,69
	25	CPI e II	0,1	0,24	0,19	0,16	0,78	0,67	0,62	1,21	1,05	0,96
			1	1,35	1,10	0,89	4,29	3,77	3,48	6,60	5,82	5,39
			10	2,53	2,08	1,69	7,84	7,01	6,50	11,96	10,75	10,04
			100	2,77	2,28	1,86	8,56	7,67	7,13	13,03	11,75	10,99
			1000	2,80	2,30	1,88	8,64	7,74	7,20	13,15	11,86	11,10
			10000	2,80	2,31	1,88	8,64	7,75	7,20	13,16	11,87	11,11
		CPIII e IV	0,1	0,24	0,19	0,16	0,78	0,67	0,62	1,21	1,05	0,96
			1	1,37	1,12	0,91	4,29	3,82	3,53	6,56	5,86	5,46
			10	2,61	2,17	1,77	7,90	7,19	6,72	11,93	10,94	10,32
			100	2,87	2,39	1,95	8,64	7,89	7,39	13,01	11,99	11,33
			1000	2,90	2,41	1,97	8,72	7,97	7,47	13,13	12,11	11,44
			10000	2,91	2,42	1,97	8,73	7,98	7,47	13,14	12,12	11,45
		CPV	0,1	0,24	0,19	0,16	0,78	0,67	0,61	1,21	1,05	0,96
			1	1,34	1,09	0,89	4,29	3,76	3,45	6,62	5,81	5,37
			10	2,50	2,04	1,66	7,83	6,95	6,42	11,99	10,68	9,94
			100	2,73	2,24	1,82	8,53	7,59	7,03	13,05	11,66	10,87
			1000	2,76	2,26	1,84	8,61	7,66	7,10	13,17	11,77	10,97
			10000	2,76	2,26	1,84	8,62	7,67	7,10	13,18	11,78	10,98
	35	CPI e II	0,1	0,25	0,21	0,18	0,78	0,68	0,63	1,22	1,06	0,98
			1	1,38	1,18	1,00	4,29	3,81	3,56	6,58	5,85	5,46
			10	2,58	2,22	1,89	7,80	7,06	6,64	11,86	10,75	10,14
			100	2,83	2,44	2,08	8,51	7,72	7,27	12,90	11,74	11,09
			1000	2,86	2,46	2,10	8,58	7,80	7,34	13,02	11,85	11,20
			10000	2,86	2,47	2,10	8,59	7,80	7,35	13,03	11,86	11,21
		CPIII e IV	0,1	0,25	0,21	0,18	0,78	0,68	0,63	1,21	1,06	0,98
			1	1,40	1,20	1,02	4,27	3,85	3,61	6,51	5,87	5,52
			10	2,66	2,32	1,98	7,82	7,22	6,85	11,76	10,90	10,39
			100	2,93	2,55	2,18	8,54	7,92	7,53	12,81	11,94	11,40
			1000	2,95	2,58	2,20	8,62	7,99	7,60	12,92	12,05	11,51
			10000	2,96	2,58	2,20	8,63	8,00	7,61	12,94	12,06	11,52
		CPV	0,1	0,25	0,21	0,18	0,78	0,68	0,63	1,22	1,06	0,98
			1	1,37	1,17	0,99	4,29	3,80	3,54	6,60	5,84	5,44
			10	2,55	2,19	1,86	7,80	7,01	6,57	11,91	10,70	10,05
			100	2,79	2,40	2,04	8,50	7,65	7,18	12,96	11,68	10,98
			1000	2,82	2,42	2,06	8,58	7,73	7,25	13,07	11,79	11,09
			10000	2,82	2,42	2,06	8,59	7,73	7,26	13,08	11,80	11,10

Continuação

C25												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
10-15	15	CPI e II	0,1	0,28	0,21	0,16	0,96	0,82	0,73	1,51	1,29	1,16
			1	1,61	1,21	0,92	5,34	4,60	4,14	8,26	7,18	6,55
			10	3,02	2,29	1,75	9,82	8,58	7,77	15,06	13,32	12,23
			100	3,31	2,52	1,92	10,72	9,40	8,52	16,42	14,57	13,40
			1000	3,35	2,54	1,94	10,82	9,49	8,60	16,57	14,70	13,53
			10000	3,35	2,54	1,94	10,83	9,50	8,61	16,59	14,72	13,54
		CPIII e IV	0,1	0,29	0,21	0,16	0,96	0,82	0,73	1,50	1,29	1,17
			1	1,64	1,24	0,94	5,36	4,67	4,21	8,24	7,25	6,65
			10	3,13	2,39	1,83	9,95	8,83	8,05	15,13	13,62	12,61
			100	3,45	2,64	2,01	10,89	9,71	8,86	16,53	14,94	13,86
			1000	3,48	2,67	2,04	11,00	9,80	8,95	16,68	15,09	14,00
			10000	3,48	2,67	2,04	11,01	9,81	8,96	16,70	15,10	14,02
		CPV	0,1	0,28	0,21	0,16	0,96	0,82	0,73	1,51	1,28	1,16
			1	1,60	1,20	0,91	5,33	4,58	4,11	8,27	7,16	6,51
			10	2,98	2,25	1,72	9,78	8,49	7,66	15,05	13,21	12,10
			100	3,26	2,47	1,88	10,67	9,29	8,39	16,40	14,43	13,23
			1000	3,30	2,49	1,90	10,76	9,37	8,47	16,55	14,57	13,36
			10000	3,30	2,50	1,90	10,77	9,38	8,48	16,57	14,58	13,37
	25	CPI e II	0,1	0,30	0,24	0,20	0,97	0,84	0,77	1,52	1,31	1,20
			1	1,69	1,38	1,12	5,36	4,72	4,34	8,25	7,28	6,74
			10	3,16	2,60	2,11	9,81	8,76	8,13	14,95	13,43	12,55
			100	3,46	2,85	2,32	10,70	9,59	8,91	16,28	14,68	13,74
			1000	3,50	2,88	2,34	10,80	9,68	8,99	16,43	14,82	13,87
			10000	3,50	2,88	2,35	10,80	9,69	9,00	16,45	14,83	13,88
		CPIII e IV	0,1	0,30	0,24	0,20	0,97	0,84	0,77	1,51	1,31	1,20
			1	1,72	1,41	1,14	5,36	4,77	4,42	8,19	7,33	6,83
			10	3,27	2,71	2,21	9,88	8,99	8,40	14,91	13,68	12,90
			100	3,59	2,99	2,44	10,80	9,86	9,24	16,27	14,99	14,16
			1000	3,63	3,02	2,46	10,90	9,96	9,33	16,41	15,13	14,30
			10000	3,63	3,02	2,46	10,91	9,97	9,34	16,43	15,15	14,32
		CPV	0,1	0,30	0,24	0,20	0,97	0,84	0,77	1,52	1,31	1,20
			1	1,68	1,36	1,11	5,36	4,70	4,32	8,27	7,26	6,71
			10	3,12	2,56	2,08	9,79	8,68	8,03	14,98	13,35	12,43
			100	3,42	2,80	2,28	10,67	9,49	8,79	16,31	14,58	13,58
			1000	3,45	2,83	2,30	10,77	9,58	8,87	16,46	14,71	13,71
			10000	3,45	2,83	2,30	10,78	9,59	8,88	16,47	14,73	13,73
	35	CPI e II	0,1	0,31	0,26	0,22	0,98	0,85	0,79	1,52	1,32	1,22
			1	1,73	1,47	1,25	5,36	4,76	4,45	8,22	7,31	6,83
			10	3,23	2,78	2,37	9,75	8,83	8,30	14,82	13,44	12,68
			100	3,54	3,05	2,60	10,63	9,65	9,09	16,13	14,68	13,87
			1000	3,57	3,08	2,62	10,73	9,75	9,18	16,27	14,82	14,00
			10000	3,57	3,08	2,63	10,74	9,75	9,19	16,29	14,83	14,01
		CPIII e IV	0,1	0,31	0,26	0,22	0,98	0,85	0,79	1,51	1,32	1,22
			1	1,75	1,51	1,28	5,34	4,81	4,51	8,13	7,34	6,90
			10	3,33	2,90	2,47	9,78	9,02	8,56	14,70	13,63	12,98
			100	3,66	3,19	2,72	10,68	9,90	9,41	16,01	14,92	14,25
			1000	3,69	3,22	2,75	10,78	9,99	9,50	16,15	15,06	14,39
			10000	3,70	3,23	2,76	10,79	10,00	9,51	16,17	15,08	14,40
		CPV	0,1	0,31	0,26	0,22	0,98	0,85	0,79	1,52	1,32	1,22
			1	1,72	1,46	1,24	5,36	4,75	4,42	8,25	7,30	6,80
			10	3,19	2,74	2,33	9,75	8,76	8,21	14,89	13,38	12,56
			100	3,49	3,00	2,55	10,63	9,57	8,98	16,20	14,60	13,73
			1000	3,52	3,03	2,57	10,72	9,66	9,06	16,34	14,73	13,86
			10000	3,53	3,03	2,58	10,73	9,67	9,07	16,36	14,75	13,87

Continuação

C30												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
0-4	15	CPI e II	0,1	0,19	0,14	0,11	0,63	0,54	0,48	0,99	0,84	0,76
			1	1,06	0,80	0,61	3,51	3,03	2,72	5,43	4,72	4,31
			10	1,99	1,51	1,15	6,45	5,64	5,11	9,90	8,75	8,04
			100	2,18	1,65	1,26	7,05	6,18	5,60	10,80	9,57	8,81
			1000	2,20	1,67	1,27	7,11	6,24	5,65	10,89	9,66	8,89
			10000	2,20	1,67	1,27	7,12	6,24	5,66	10,90	9,67	8,90
		CPIII e IV	0,1	0,19	0,14	0,11	0,63	0,54	0,48	0,99	0,85	0,77
			1	1,08	0,82	0,62	3,52	3,07	2,77	5,42	4,77	4,37
			10	2,06	1,57	1,20	6,54	5,81	5,29	9,94	8,95	8,29
			100	2,26	1,73	1,32	7,16	6,38	5,82	10,86	9,82	9,11
			1000	2,29	1,75	1,34	7,23	6,44	5,88	10,96	9,92	9,20
			10000	2,29	1,75	1,34	7,23	6,45	5,89	10,98	9,93	9,21
		CPV	0,1	0,19	0,14	0,11	0,63	0,54	0,48	0,99	0,84	0,76
			1	1,05	0,79	0,60	3,51	3,01	2,70	5,43	4,70	4,28
			10	1,96	1,48	1,13	6,42	5,58	5,04	9,89	8,68	7,95
			100	2,15	1,62	1,24	7,01	6,10	5,51	10,78	9,49	8,70
			1000	2,17	1,64	1,25	7,08	6,16	5,57	10,88	9,57	8,78
			10000	2,17	1,64	1,25	7,08	6,17	5,57	10,89	9,58	8,79
	25	CPI e II	0,1	0,20	0,16	0,13	0,64	0,55	0,51	1,00	0,86	0,79
			1	1,11	0,90	0,73	3,52	3,10	2,86	5,42	4,78	4,43
			10	2,08	1,71	1,39	6,44	5,76	5,34	9,83	8,83	8,25
			100	2,28	1,87	1,53	7,03	6,30	5,86	10,70	9,65	9,03
			1000	2,30	1,89	1,54	7,10	6,36	5,91	10,80	9,74	9,12
			10000	2,30	1,89	1,54	7,10	6,37	5,92	10,81	9,75	9,12
		CPIII e IV	0,1	0,20	0,16	0,13	0,64	0,55	0,51	0,99	0,86	0,79
			1	1,13	0,92	0,75	3,52	3,14	2,90	5,39	4,82	4,49
			10	2,15	1,78	1,45	6,49	5,91	5,52	9,80	8,99	8,48
			100	2,36	1,96	1,60	7,10	6,48	6,07	10,69	9,85	9,31
			1000	2,39	1,98	1,62	7,16	6,55	6,14	10,79	9,95	9,40
			10000	2,39	1,98	1,62	7,17	6,55	6,14	10,80	9,96	9,41
		CPV	0,1	0,20	0,16	0,13	0,64	0,55	0,51	1,00	0,86	0,79
			1	1,10	0,90	0,73	3,52	3,09	2,84	5,44	4,77	4,41
			10	2,05	1,68	1,37	6,43	5,71	5,28	9,85	8,77	8,17
			100	2,25	1,84	1,50	7,01	6,24	5,78	10,72	9,58	8,93
			1000	2,27	1,86	1,51	7,08	6,30	5,83	10,82	9,67	9,01
			10000	2,27	1,86	1,51	7,08	6,30	5,84	10,83	9,68	9,02
	35	CPI e II	0,1	0,20	0,17	0,14	0,64	0,56	0,52	1,00	0,87	0,80
			1	1,14	0,97	0,82	3,52	3,13	2,92	5,40	4,80	4,49
			10	2,12	1,83	1,56	6,41	5,80	5,46	9,74	8,83	8,33
			100	2,32	2,00	1,71	6,99	6,35	5,98	10,60	9,65	9,11
			1000	2,35	2,02	1,72	7,05	6,41	6,03	10,69	9,74	9,20
			10000	2,35	2,03	1,73	7,06	6,41	6,04	10,70	9,75	9,21
		CPIII e IV	0,1	0,20	0,17	0,14	0,64	0,56	0,52	0,99	0,87	0,80
			1	1,15	0,99	0,84	3,51	3,16	2,97	5,35	4,82	4,54
			10	2,19	1,90	1,62	6,43	5,93	5,63	9,66	8,96	8,53
			100	2,40	2,10	1,79	7,02	6,50	6,18	10,52	9,81	9,36
			1000	2,43	2,12	1,81	7,08	6,57	6,25	10,62	9,90	9,46
			10000	2,43	2,12	1,81	7,09	6,57	6,25	10,63	9,91	9,47
		CPV	0,1	0,20	0,17	0,14	0,64	0,56	0,52	1,00	0,87	0,80
			1	1,13	0,96	0,82	3,53	3,12	2,91	5,43	4,80	4,47
			10	2,10	1,80	1,53	6,41	5,76	5,39	9,79	8,79	8,26
			100	2,29	1,97	1,68	6,98	6,29	5,90	10,65	9,60	9,02
			1000	2,32	1,99	1,69	7,05	6,35	5,96	10,74	9,68	9,11
			10000	2,32	1,99	1,69	7,05	6,35	5,96	10,75	9,69	9,12

Continuação

C30												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
5-9	15	CPI e II	0,1	0,25	0,19	0,14	0,85	0,72	0,64	1,32	1,13	1,02
			1	1,41	1,06	0,81	4,68	4,03	3,63	7,24	6,30	5,74
			10	2,65	2,01	1,53	8,61	7,52	6,81	13,20	11,67	10,72
			100	2,90	2,20	1,68	9,40	8,24	7,46	14,39	12,77	11,74
			1000	2,93	2,23	1,70	9,48	8,31	7,54	14,53	12,89	11,86
			10000	2,93	2,23	1,70	9,49	8,32	7,54	14,54	12,90	11,87
		CPIII e IV	0,1	0,25	0,19	0,14	0,85	0,72	0,64	1,32	1,13	1,02
			1	1,44	1,09	0,83	4,70	4,09	3,69	7,22	6,36	5,83
			10	2,74	2,10	1,60	8,72	7,74	7,05	13,26	11,94	11,06
			100	3,02	2,31	1,77	9,55	8,51	7,76	14,48	13,10	12,15
			1000	3,05	2,34	1,78	9,64	8,59	7,84	14,62	13,22	12,27
			10000	3,05	2,34	1,79	9,65	8,60	7,85	14,63	13,24	12,28
		CPV	0,1	0,25	0,19	0,14	0,85	0,72	0,64	1,32	1,13	1,02
			1	1,40	1,05	0,80	4,67	4,01	3,60	7,24	6,27	5,71
			10	2,61	1,98	1,50	8,57	7,44	6,72	13,19	11,58	10,60
			100	2,86	2,16	1,65	9,35	8,14	7,35	14,37	12,65	11,59
			1000	2,89	2,19	1,67	9,43	8,21	7,42	14,51	12,77	11,70
			10000	2,89	2,19	1,67	9,44	8,22	7,43	14,52	12,78	11,72
	25	CPI e II	0,1	0,26	0,21	0,17	0,85	0,74	0,67	1,33	1,15	1,05
			1	1,48	1,21	0,98	4,70	4,13	3,81	7,23	6,38	5,91
			10	2,77	2,28	1,85	8,59	7,68	7,13	13,10	11,77	11,00
			100	3,04	2,50	2,03	9,37	8,40	7,81	14,27	12,87	12,04
			1000	3,07	2,52	2,05	9,46	8,48	7,88	14,40	12,99	12,15
			10000	3,07	2,53	2,06	9,47	8,49	7,89	14,41	13,00	12,17
		CPIII e IV	0,1	0,26	0,21	0,17	0,85	0,74	0,68	1,32	1,15	1,05
			1	1,50	1,23	1,00	4,70	4,18	3,87	7,18	6,42	5,98
			10	2,86	2,37	1,94	8,66	7,88	7,36	13,07	11,99	11,30
			100	3,15	2,62	2,14	9,46	8,64	8,10	14,25	13,13	12,41
			1000	3,18	2,64	2,16	9,55	8,73	8,18	14,39	13,26	12,53
			10000	3,18	2,65	2,16	9,56	8,74	8,19	14,40	13,27	12,55
		CPV	0,1	0,26	0,21	0,17	0,85	0,74	0,67	1,33	1,15	1,05
			1	1,47	1,20	0,97	4,70	4,11	3,78	7,25	6,36	5,88
			10	2,74	2,24	1,82	8,58	7,61	7,04	13,13	11,70	10,89
			100	2,99	2,45	2,00	9,35	8,32	7,70	14,30	12,77	11,91
			1000	3,02	2,48	2,02	9,43	8,40	7,77	14,42	12,89	12,02
			10000	3,03	2,48	2,02	9,44	8,40	7,78	14,44	12,90	12,03
	35	CPI e II	0,1	0,27	0,23	0,19	0,86	0,75	0,69	1,33	1,16	1,07
			1	1,51	1,29	1,10	4,69	4,18	3,90	7,20	6,40	5,98
			10	2,83	2,44	2,07	8,55	7,74	7,28	12,99	11,78	11,11
			100	3,10	2,67	2,28	9,32	8,46	7,97	14,13	12,86	12,15
			1000	3,13	2,70	2,30	9,40	8,54	8,05	14,26	12,98	12,27
			10000	3,13	2,70	2,30	9,41	8,55	8,05	14,27	13,00	12,28
		CPIII e IV	0,1	0,27	0,23	0,19	0,86	0,75	0,69	1,33	1,16	1,07
			1	1,54	1,32	1,12	4,68	4,22	3,95	7,13	6,43	6,05
			10	2,92	2,54	2,17	8,57	7,91	7,50	12,88	11,94	11,38
			100	3,20	2,80	2,39	9,36	8,67	8,25	14,03	13,08	12,49
			1000	3,24	2,82	2,41	9,44	8,76	8,33	14,16	13,20	12,61
			10000	3,24	2,83	2,42	9,45	8,77	8,34	14,17	13,21	12,62
		CPV	0,1	0,27	0,23	0,19	0,86	0,75	0,69	1,33	1,16	1,07
			1	1,51	1,28	1,09	4,70	4,16	3,87	7,23	6,39	5,96
			10	2,80	2,40	2,04	8,55	7,68	7,19	13,05	11,72	11,01
			100	3,06	2,63	2,23	9,31	8,39	7,87	14,19	12,79	12,03
			1000	3,09	2,65	2,26	9,40	8,46	7,94	14,32	12,91	12,15
			10000	3,09	2,65	2,26	9,41	8,47	7,95	14,33	12,92	12,16

Continuação

C30												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
10-15	15	CPI e II	0,1	0,31	0,23	0,18	1,06	0,90	0,80	1,65	1,41	1,27
			1	1,76	1,33	1,01	5,85	5,04	4,54	9,05	7,87	7,18
			10	3,31	2,51	1,91	10,76	9,40	8,51	16,50	14,59	13,40
			100	3,63	2,76	2,10	11,75	10,29	9,33	17,99	15,96	14,68
			1000	3,66	2,78	2,12	11,86	10,39	9,42	18,16	16,11	14,82
			10000	3,67	2,79	2,12	11,87	10,40	9,43	18,17	16,12	14,83
		CPIII e IV	0,1	0,31	0,23	0,18	1,06	0,90	0,80	1,65	1,41	1,28
			1	1,80	1,36	1,03	5,87	5,11	4,62	9,03	7,95	7,28
			10	3,43	2,62	2,00	10,90	9,68	8,82	16,57	14,92	13,82
			100	3,77	2,89	2,21	11,93	10,63	9,70	18,11	16,37	15,19
			1000	3,81	2,92	2,23	12,05	10,74	9,80	18,27	16,53	15,34
			10000	3,82	2,92	2,23	12,06	10,75	9,81	18,29	16,55	15,36
		CPV	0,1	0,31	0,23	0,18	1,06	0,90	0,80	1,65	1,41	1,27
			1	1,75	1,32	1,00	5,84	5,02	4,50	9,06	7,84	7,14
			10	3,27	2,47	1,88	10,71	9,30	8,40	16,49	14,47	13,25
			100	3,58	2,71	2,06	11,68	10,17	9,19	17,97	15,81	14,49
			1000	3,61	2,73	2,08	11,79	10,27	9,28	18,13	15,96	14,63
			10000	3,61	2,74	2,08	11,80	10,28	9,29	18,15	15,97	14,64
	25	CPI e II	0,1	0,33	0,26	0,21	1,07	0,92	0,84	1,66	1,43	1,32
			1	1,85	1,51	1,22	5,87	5,17	4,76	9,04	7,97	7,39
			10	3,46	2,85	2,32	10,74	9,60	8,91	16,38	14,72	13,75
			100	3,79	3,12	2,54	11,72	10,50	9,76	17,84	16,08	15,05
			1000	3,83	3,15	2,57	11,83	10,60	9,85	18,00	16,23	15,19
			10000	3,84	3,16	2,57	11,84	10,61	9,86	18,02	16,25	15,21
		CPIII e IV	0,1	0,33	0,27	0,22	1,07	0,92	0,84	1,66	1,43	1,32
			1	1,88	1,54	1,25	5,87	5,23	4,84	8,98	8,03	7,48
			10	3,58	2,97	2,42	10,82	9,85	9,21	16,34	14,98	14,13
			100	3,94	3,27	2,67	11,83	10,81	10,12	17,82	16,42	15,51
			1000	3,98	3,30	2,70	11,94	10,91	10,23	17,98	16,58	15,67
			10000	3,98	3,31	2,70	11,95	10,92	10,24	18,00	16,59	15,68
		CPV	0,1	0,33	0,26	0,21	1,07	0,92	0,84	1,66	1,43	1,31
			1	1,84	1,49	1,21	5,87	5,14	4,73	9,06	7,95	7,35
			10	3,42	2,80	2,28	10,72	9,51	8,80	16,41	14,62	13,61
			100	3,74	3,07	2,50	11,69	10,40	9,63	17,87	15,97	14,88
			1000	3,78	3,10	2,52	11,79	10,49	9,72	18,03	16,12	15,02
			10000	3,78	3,10	2,52	11,80	10,50	9,73	18,05	16,13	15,04
	35	CPI e II	0,1	0,34	0,28	0,24	1,07	0,93	0,86	1,66	1,45	1,34
			1	1,89	1,61	1,37	5,87	5,22	4,87	9,00	8,01	7,48
			10	3,54	3,04	2,59	10,68	9,67	9,10	16,24	14,72	13,89
			100	3,87	3,34	2,85	11,65	10,58	9,96	17,67	16,08	15,19
			1000	3,91	3,37	2,87	11,75	10,68	10,06	17,82	16,23	15,33
			10000	3,91	3,38	2,88	11,76	10,69	10,07	17,84	16,25	15,35
		CPIII e IV	0,1	0,34	0,28	0,24	1,07	0,94	0,87	1,66	1,45	1,34
			1	1,92	1,65	1,40	5,85	5,27	4,94	8,91	8,04	7,56
			10	3,65	3,17	2,71	10,71	9,88	9,38	16,10	14,93	14,22
			100	4,01	3,49	2,98	11,69	10,84	10,31	17,54	16,34	15,61
			1000	4,05	3,53	3,02	11,80	10,95	10,41	17,70	16,50	15,76
			10000	4,05	3,53	3,02	11,81	10,96	10,42	17,71	16,52	15,78
		CPV	0,1	0,34	0,28	0,24	1,07	0,93	0,86	1,67	1,45	1,34
			1	1,88	1,60	1,36	5,88	5,20	4,84	9,04	7,99	7,45
			10	3,50	3,00	2,55	10,68	9,59	8,99	16,31	14,66	13,76
			100	3,82	3,28	2,79	11,64	10,48	9,84	17,74	15,99	15,04
			1000	3,86	3,32	2,82	11,75	10,58	9,93	17,90	16,14	15,18
			10000	3,86	3,32	2,82	11,76	10,59	9,94	17,92	16,16	15,20

Continuação

C35												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
0-4	15	CPI e II	0,1	0,20	0,15	0,11	0,68	0,58	0,52	1,07	0,91	0,83
			1	1,14	0,86	0,66	3,79	3,27	2,94	5,86	5,10	4,65
			10	2,15	1,63	1,24	6,97	6,09	5,52	10,69	9,45	8,69
			100	2,35	1,79	1,36	7,61	6,67	6,05	11,66	10,34	9,51
			1000	2,37	1,80	1,38	7,68	6,74	6,10	11,77	10,44	9,60
			10000	2,38	1,81	1,38	7,69	6,74	6,11	11,78	10,45	9,61
		CPIII e IV	0,1	0,20	0,15	0,12	0,68	0,58	0,52	1,07	0,91	0,83
			1	1,16	0,88	0,67	3,81	3,31	2,99	5,85	5,15	4,72
			10	2,22	1,70	1,30	7,07	6,27	5,71	10,74	9,67	8,96
			100	2,45	1,87	1,43	7,73	6,89	6,29	11,73	10,61	9,84
			1000	2,47	1,89	1,45	7,81	6,96	6,35	11,84	10,71	9,94
			10000	2,47	1,89	1,45	7,81	6,97	6,36	11,85	10,72	9,95
		CPV	0,1	0,20	0,15	0,11	0,68	0,58	0,52	1,07	0,91	0,82
			1	1,14	0,85	0,65	3,79	3,25	2,92	5,87	5,08	4,62
			10	2,12	1,60	1,22	6,94	6,03	5,44	10,69	9,38	8,59
			100	2,32	1,75	1,34	7,57	6,59	5,96	11,65	10,25	9,39
			1000	2,34	1,77	1,35	7,64	6,65	6,01	11,75	10,34	9,48
			10000	2,34	1,77	1,35	7,65	6,66	6,02	11,76	10,35	9,49
	25	CPI e II	0,1	0,21	0,17	0,14	0,69	0,60	0,55	1,08	0,93	0,85
			1	1,20	0,98	0,79	3,81	3,35	3,08	5,86	5,17	4,79
			10	2,24	1,84	1,50	6,96	6,22	5,77	10,61	9,54	8,91
			100	2,46	2,02	1,65	7,59	6,81	6,32	11,56	10,42	9,75
			1000	2,48	2,04	1,66	7,66	6,87	6,39	11,67	10,52	9,85
			10000	2,49	2,05	1,67	7,67	6,88	6,39	11,68	10,53	9,86
		CPIII e IV	0,1	0,21	0,17	0,14	0,69	0,60	0,55	1,07	0,93	0,85
			1	1,22	1,00	0,81	3,81	3,39	3,13	5,82	5,20	4,85
			10	2,32	1,92	1,57	7,01	6,38	5,97	10,59	9,71	9,16
			100	2,55	2,12	1,73	7,67	7,00	6,56	11,55	10,64	10,05
			1000	2,58	2,14	1,75	7,74	7,07	6,63	11,65	10,74	10,15
			10000	2,58	2,14	1,75	7,75	7,08	6,63	11,66	10,75	10,16
		CPV	0,1	0,21	0,17	0,14	0,69	0,60	0,55	1,08	0,93	0,85
			1	1,19	0,97	0,79	3,81	3,33	3,06	5,87	5,15	4,76
			10	2,22	1,81	1,48	6,95	6,16	5,70	10,64	9,48	8,82
			100	2,43	1,99	1,62	7,57	6,74	6,24	11,58	10,35	9,64
			1000	2,45	2,01	1,63	7,64	6,80	6,30	11,69	10,44	9,74
			10000	2,45	2,01	1,63	7,65	6,81	6,30	11,70	10,45	9,74
	35	CPI e II	0,1	0,22	0,18	0,16	0,69	0,61	0,56	1,08	0,94	0,87
			1	1,23	1,05	0,89	3,80	3,38	3,16	5,83	5,19	4,85
			10	2,29	1,97	1,68	6,92	6,27	5,89	10,52	9,54	9,00
			100	2,51	2,16	1,84	7,55	6,85	6,46	11,45	10,42	9,84
			1000	2,53	2,19	1,86	7,62	6,92	6,52	11,55	10,52	9,94
			10000	2,54	2,19	1,86	7,62	6,93	6,52	11,56	10,53	9,95
		CPIII e IV	0,1	0,22	0,18	0,16	0,69	0,61	0,56	1,07	0,94	0,87
			1	1,25	1,07	0,91	3,79	3,41	3,20	5,77	5,21	4,90
			10	2,36	2,06	1,75	6,94	6,41	6,08	10,43	9,68	9,22
			100	2,60	2,26	1,93	7,58	7,03	6,68	11,37	10,59	10,11
			1000	2,62	2,29	1,95	7,65	7,09	6,75	11,47	10,69	10,21
			10000	2,62	2,29	1,96	7,66	7,10	6,75	11,48	10,70	10,22
		CPV	0,1	0,22	0,18	0,16	0,70	0,61	0,56	1,08	0,94	0,87
			1	1,22	1,04	0,88	3,81	3,37	3,14	5,86	5,18	4,83
			10	2,27	1,94	1,65	6,92	6,22	5,83	10,57	9,50	8,92
			100	2,48	2,13	1,81	7,54	6,79	6,37	11,50	10,36	9,75
			1000	2,50	2,15	1,83	7,61	6,86	6,43	11,60	10,46	9,84
			10000	2,50	2,15	1,83	7,62	6,86	6,44	11,61	10,47	9,85

Continuação

C35												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
5-9	15	CPI e II	0,1	0,27	0,20	0,15	0,91	0,77	0,69	1,43	1,22	1,10
			1	1,53	1,15	0,87	5,06	4,36	3,92	7,82	6,80	6,20
			10	2,86	2,17	1,65	9,29	8,12	7,35	14,26	12,61	11,58
			100	3,14	2,38	1,82	10,15	8,90	8,06	15,55	13,79	12,68
			1000	3,17	2,40	1,83	10,24	8,98	8,14	15,69	13,92	12,81
			10000	3,17	2,41	1,84	10,25	8,99	8,15	15,70	13,93	12,82
		CPIII e IV	0,1	0,27	0,20	0,15	0,91	0,78	0,69	1,42	1,22	1,10
			1	1,55	1,17	0,89	5,08	4,42	3,99	7,80	6,87	6,29
			10	2,96	2,27	1,73	9,42	8,36	7,62	14,32	12,90	11,94
			100	3,26	2,50	1,91	10,31	9,19	8,38	15,64	14,14	13,12
			1000	3,29	2,52	1,93	10,41	9,28	8,47	15,79	14,28	13,25
			10000	3,30	2,53	1,93	10,42	9,29	8,48	15,81	14,30	13,27
		CPV	0,1	0,27	0,20	0,15	0,91	0,77	0,69	1,43	1,22	1,10
			1	1,51	1,14	0,87	5,05	4,33	3,89	7,82	6,77	6,17
			10	2,82	2,13	1,63	9,25	8,04	7,25	14,25	12,50	11,45
			100	3,09	2,34	1,78	10,10	8,79	7,94	15,53	13,66	12,52
			1000	3,12	2,36	1,80	10,19	8,87	8,02	15,67	13,79	12,64
			10000	3,12	2,36	1,80	10,20	8,88	8,03	15,68	13,80	12,65
	25	CPI e II	0,1	0,28	0,23	0,19	0,92	0,80	0,73	1,43	1,24	1,14
			1	1,60	1,30	1,06	5,08	4,46	4,11	7,81	6,89	6,38
			10	2,99	2,46	2,00	9,28	8,30	7,70	14,15	12,72	11,88
			100	3,28	2,70	2,20	10,13	9,08	8,43	15,41	13,90	13,00
			1000	3,31	2,72	2,22	10,22	9,16	8,51	15,55	14,03	13,13
			10000	3,31	2,73	2,22	10,23	9,17	8,52	15,57	14,04	13,14
CPIII e IV		0,1	0,28	0,23	0,19	0,92	0,80	0,73	1,43	1,24	1,14	
		1	1,63	1,33	1,08	5,08	4,52	4,18	7,76	6,94	6,46	
		10	3,09	2,56	2,09	9,35	8,51	7,95	14,12	12,95	12,21	
		100	3,40	2,83	2,31	10,22	9,34	8,75	15,40	14,19	13,41	
		1000	3,44	2,86	2,33	10,32	9,43	8,84	15,54	14,32	13,54	
		10000	3,44	2,86	2,33	10,33	9,44	8,84	15,55	14,34	13,55	
CPV		0,1	0,28	0,23	0,19	0,92	0,80	0,73	1,44	1,24	1,14	
		1	1,59	1,29	1,05	5,08	4,44	4,09	7,83	6,87	6,35	
		10	2,96	2,42	1,97	9,26	8,22	7,60	14,18	12,64	11,76	
		100	3,23	2,65	2,16	10,10	8,98	8,32	15,44	13,80	12,86	
		1000	3,27	2,68	2,18	10,19	9,07	8,40	15,58	13,93	12,98	
		10000	3,27	2,68	2,18	10,20	9,08	8,40	15,59	13,94	12,99	
35	CPI e II	0,1	0,29	0,25	0,21	0,93	0,81	0,75	1,44	1,25	1,15	
		1	1,64	1,40	1,19	5,07	4,51	4,21	7,78	6,92	6,46	
		10	3,06	2,63	2,24	9,23	8,36	7,86	14,03	12,72	12,00	
		100	3,35	2,89	2,46	10,06	9,14	8,61	15,27	13,90	13,13	
		1000	3,38	2,91	2,48	10,16	9,22	8,69	15,40	14,02	13,25	
		10000	3,38	2,92	2,49	10,16	9,23	8,70	15,42	14,04	13,26	
	CPIII e IV	0,1	0,29	0,25	0,21	0,92	0,81	0,75	1,43	1,25	1,16	
		1	1,66	1,42	1,21	5,06	4,55	4,27	7,70	6,95	6,53	
		10	3,15	2,74	2,34	9,26	8,54	8,10	13,91	12,90	12,29	
		100	3,46	3,02	2,58	10,11	9,37	8,91	15,15	14,12	13,49	
		1000	3,50	3,05	2,61	10,20	9,46	9,00	15,29	14,26	13,62	
		10000	3,50	3,05	2,61	10,21	9,47	9,00	15,31	14,27	13,63	
	CPV	0,1	0,29	0,24	0,21	0,93	0,81	0,75	1,44	1,25	1,15	
		1	1,63	1,38	1,17	5,08	4,49	4,18	7,81	6,91	6,44	
		10	3,02	2,59	2,20	9,23	8,29	7,77	14,09	12,66	11,89	
		100	3,30	2,84	2,41	10,06	9,06	8,50	15,33	13,82	13,00	
		1000	3,34	2,86	2,44	10,15	9,14	8,58	15,47	13,95	13,12	
		10000	3,34	2,87	2,44	10,16	9,15	8,59	15,48	13,96	13,13	

Continuação

C35												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
10-15	15	CPI e II	0,1	0,34	0,25	0,19	1,14	0,97	0,87	1,78	1,52	1,38
			1	1,91	1,44	1,09	6,32	5,45	4,90	9,77	8,50	7,75
			10	3,58	2,71	2,07	11,62	10,16	9,19	17,82	15,76	14,48
			100	3,92	2,98	2,27	12,69	11,12	10,08	19,43	17,23	15,85
			1000	3,96	3,01	2,29	12,81	11,23	10,17	19,61	17,40	16,01
			10000	3,96	3,01	2,29	12,82	11,24	10,18	19,63	17,41	16,02
		CPIII e IV	0,1	0,34	0,25	0,19	1,14	0,97	0,87	1,78	1,52	1,38
			1	1,94	1,47	1,12	6,34	5,52	4,99	9,75	8,58	7,87
			10	3,71	2,83	2,16	11,78	10,45	9,52	17,90	16,12	14,93
			100	4,08	3,12	2,38	12,89	11,48	10,48	19,56	17,68	16,40
			1000	4,12	3,15	2,41	13,01	11,60	10,59	19,74	17,85	16,57
			10000	4,12	3,16	2,41	13,02	11,61	10,60	19,76	17,87	16,59
		CPV	0,1	0,34	0,25	0,19	1,14	0,97	0,86	1,78	1,52	1,37
			1	1,89	1,42	1,08	6,31	5,42	4,87	9,78	8,47	7,71
			10	3,53	2,67	2,03	11,57	10,05	9,07	17,81	15,63	14,31
			100	3,86	2,92	2,23	12,62	10,99	9,93	19,41	17,08	15,65
			1000	3,90	2,95	2,25	12,74	11,09	10,02	19,58	17,24	15,80
			10000	3,90	2,95	2,25	12,75	11,10	10,03	19,60	17,25	15,82
	25	CPI e II	0,1	0,35	0,29	0,23	1,15	1,00	0,91	1,79	1,55	1,42
			1	2,00	1,63	1,32	6,34	5,58	5,14	9,76	8,61	7,98
			10	3,74	3,07	2,50	11,60	10,37	9,62	17,69	15,90	14,85
			100	4,10	3,37	2,75	12,66	11,35	10,54	19,27	17,37	16,26
			1000	4,14	3,41	2,77	12,77	11,45	10,64	19,44	17,53	16,41
			10000	4,14	3,41	2,78	12,78	11,47	10,65	19,46	17,55	16,43
		CPIII e IV	0,1	0,35	0,29	0,23	1,15	1,00	0,91	1,79	1,55	1,42
			1	2,03	1,66	1,35	6,34	5,64	5,22	9,70	8,67	8,08
			10	3,87	3,20	2,61	11,69	10,63	9,94	17,65	16,18	15,26
			100	4,25	3,53	2,88	12,78	11,67	10,93	19,25	17,73	16,76
			1000	4,29	3,57	2,91	12,90	11,79	11,04	19,42	17,90	16,92
			10000	4,30	3,57	2,92	12,91	11,80	11,06	19,44	17,92	16,94
		CPV	0,1	0,35	0,29	0,23	1,15	1,00	0,91	1,79	1,55	1,42
			1	1,99	1,61	1,31	6,34	5,56	5,11	9,79	8,59	7,94
			10	3,69	3,02	2,46	11,58	10,27	9,50	17,73	15,80	14,70
			100	4,04	3,31	2,70	12,62	11,23	10,40	19,30	17,25	16,07
			1000	4,08	3,35	2,72	12,74	11,33	10,50	19,48	17,41	16,23
			10000	4,09	3,35	2,72	12,75	11,35	10,51	19,49	17,42	16,24
	35	CPI e II	0,1	0,36	0,31	0,26	1,16	1,01	0,93	1,80	1,56	1,44
			1	2,05	1,74	1,48	6,34	5,64	5,26	9,72	8,65	8,08
			10	3,82	3,29	2,80	11,54	10,45	9,82	17,54	15,90	15,00
			100	4,18	3,61	3,07	12,58	11,42	10,76	19,08	17,37	16,41
			1000	4,22	3,64	3,10	12,69	11,53	10,86	19,25	17,53	16,56
			10000	4,23	3,65	3,11	12,71	11,54	10,87	19,27	17,55	16,58
		CPIII e IV	0,1	0,36	0,31	0,26	1,16	1,01	0,94	1,79	1,56	1,45
			1	2,08	1,78	1,51	6,32	5,69	5,34	9,62	8,68	8,17
			10	3,94	3,43	2,92	11,57	10,68	10,13	17,39	16,13	15,36
			100	4,33	3,77	3,22	12,63	11,71	11,13	18,94	17,65	16,86
			1000	4,37	3,81	3,26	12,75	11,82	11,24	19,11	17,82	17,02
			10000	4,37	3,82	3,26	12,76	11,84	11,26	19,13	17,84	17,04
		CPV	0,1	0,36	0,31	0,26	1,16	1,01	0,93	1,80	1,56	1,44
			1	2,03	1,73	1,47	6,35	5,62	5,23	9,77	8,63	8,05
			10	3,78	3,24	2,75	11,54	10,36	9,71	17,62	15,83	14,87
			100	4,13	3,55	3,02	12,57	11,32	10,62	19,16	17,27	16,25
			1000	4,17	3,58	3,05	12,69	11,43	10,72	19,33	17,43	16,40
			10000	4,17	3,58	3,05	12,70	11,44	10,73	19,35	17,45	16,41

Conclusão

APÊNDICE C.- Coeficiente de envelhecimento $\chi(t=3000, t_0=0)$.

ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
0-4	15	CPI e II	0,1	0,39	0,35	0,34	0,47	0,39	0,36	0,49	0,40	0,36
			1	0,39	0,34	0,33	0,49	0,40	0,36	0,53	0,42	0,37
			10	0,39	0,34	0,32	0,50	0,40	0,36	0,56	0,43	0,37
			100	0,39	0,34	0,32	0,50	0,40	0,35	0,56	0,43	0,37
			1000	0,39	0,34	0,32	0,50	0,40	0,35	0,56	0,43	0,37
			10000	0,39	0,34	0,32	0,50	0,40	0,35	0,56	0,43	0,37
		CPIII e IV	0,1	0,41	0,35	0,33	0,54	0,44	0,39	0,58	0,46	0,41
			1	0,42	0,34	0,32	0,58	0,45	0,39	0,66	0,50	0,43
			10	0,42	0,34	0,31	0,61	0,46	0,39	0,72	0,52	0,44
			100	0,42	0,33	0,31	0,62	0,46	0,39	0,73	0,53	0,44
			1000	0,42	0,33	0,31	0,62	0,46	0,39	0,73	0,53	0,44
			10000	0,42	0,33	0,31	0,62	0,46	0,39	0,73	0,53	0,44
		CPV	0,1	0,38	0,34	0,34	0,43	0,36	0,34	0,44	0,37	0,33
			1	0,38	0,34	0,33	0,44	0,37	0,33	0,47	0,38	0,34
			10	0,38	0,33	0,32	0,45	0,37	0,33	0,48	0,38	0,33
			100	0,37	0,33	0,32	0,45	0,37	0,33	0,49	0,38	0,33
			1000	0,37	0,33	0,32	0,45	0,37	0,33	0,49	0,38	0,33
			10000	0,37	0,33	0,32	0,45	0,37	0,33	0,49	0,38	0,33
	25	CPI e II	0,1	0,40	0,35	0,34	0,47	0,40	0,36	0,50	0,41	0,37
			1	0,40	0,35	0,33	0,49	0,40	0,36	0,54	0,42	0,37
			10	0,40	0,35	0,32	0,51	0,41	0,36	0,57	0,43	0,38
			100	0,40	0,34	0,32	0,51	0,41	0,36	0,57	0,44	0,38
			1000	0,40	0,34	0,32	0,51	0,41	0,36	0,57	0,44	0,38
			10000	0,40	0,34	0,32	0,51	0,41	0,36	0,57	0,44	0,38
		CPIII e IV	0,1	0,43	0,36	0,34	0,55	0,45	0,40	0,59	0,48	0,42
			1	0,43	0,36	0,33	0,60	0,47	0,41	0,68	0,51	0,44
			10	0,43	0,35	0,32	0,63	0,48	0,41	0,74	0,54	0,46
			100	0,43	0,35	0,32	0,64	0,48	0,41	0,75	0,55	0,46
			1000	0,43	0,35	0,32	0,64	0,48	0,41	0,75	0,55	0,46
			10000	0,43	0,35	0,32	0,64	0,48	0,41	0,75	0,55	0,46
		CPV	0,1	0,38	0,35	0,33	0,43	0,37	0,34	0,45	0,37	0,34
			1	0,38	0,34	0,33	0,44	0,37	0,34	0,47	0,38	0,34
			10	0,38	0,34	0,32	0,45	0,37	0,34	0,49	0,38	0,34
			100	0,38	0,34	0,32	0,45	0,37	0,34	0,49	0,38	0,34
			1000	0,38	0,34	0,32	0,45	0,37	0,34	0,49	0,38	0,34
			10000	0,38	0,34	0,32	0,45	0,37	0,34	0,49	0,38	0,34
	35	CPI e II	0,1	0,41	0,36	0,34	0,48	0,40	0,37	0,50	0,41	0,37
			1	0,41	0,36	0,34	0,50	0,41	0,37	0,54	0,43	0,38
			10	0,41	0,35	0,33	0,52	0,41	0,37	0,57	0,44	0,38
			100	0,41	0,35	0,33	0,52	0,41	0,37	0,58	0,44	0,38
			1000	0,41	0,35	0,33	0,52	0,41	0,37	0,58	0,44	0,39
			10000	0,41	0,35	0,33	0,52	0,41	0,37	0,58	0,44	0,39
		CPIII e IV	0,1	0,44	0,37	0,35	0,56	0,46	0,41	0,60	0,49	0,43
			1	0,45	0,37	0,34	0,61	0,48	0,42	0,69	0,53	0,45
			10	0,45	0,37	0,33	0,64	0,49	0,43	0,76	0,56	0,47
			100	0,45	0,37	0,33	0,65	0,49	0,43	0,77	0,56	0,47
			1000	0,45	0,37	0,33	0,65	0,50	0,43	0,77	0,56	0,47
			10000	0,45	0,37	0,33	0,65	0,50	0,43	0,77	0,56	0,47
		CPV	0,1	0,39	0,35	0,33	0,44	0,37	0,34	0,45	0,37	0,34
			1	0,39	0,35	0,33	0,45	0,37	0,34	0,48	0,38	0,34
			10	0,39	0,34	0,32	0,46	0,37	0,34	0,49	0,39	0,34
			100	0,39	0,34	0,32	0,46	0,37	0,34	0,49	0,39	0,34
			1000	0,39	0,34	0,32	0,46	0,37	0,34	0,49	0,39	0,34
			10000	0,39	0,34	0,32	0,46	0,37	0,34	0,49	0,39	0,34

Continua

ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
5-9	15	CPI e II	0,1	0,37	0,32	0,31	0,45	0,37	0,34	0,48	0,39	0,35
			1	0,37	0,32	0,31	0,48	0,38	0,34	0,53	0,41	0,36
			10	0,37	0,31	0,30	0,49	0,38	0,34	0,56	0,42	0,36
			100	0,37	0,31	0,29	0,49	0,38	0,34	0,57	0,42	0,36
			1000	0,37	0,31	0,29	0,50	0,38	0,34	0,57	0,42	0,36
			10000	0,37	0,31	0,29	0,50	0,38	0,34	0,57	0,42	0,36
		CPIII e IV	0,1	0,39	0,33	0,31	0,52	0,42	0,37	0,57	0,46	0,40
			1	0,40	0,33	0,31	0,58	0,44	0,38	0,68	0,50	0,42
			10	0,40	0,32	0,30	0,62	0,46	0,39	0,75	0,53	0,44
			100	0,40	0,32	0,29	0,63	0,46	0,39	0,76	0,53	0,44
			1000	0,40	0,32	0,29	0,63	0,46	0,39	0,76	0,53	0,44
			10000	0,40	0,32	0,29	0,63	0,46	0,39	0,76	0,53	0,44
		CPV	0,1	0,35	0,31	0,31	0,41	0,34	0,31	0,43	0,35	0,32
			1	0,35	0,31	0,30	0,42	0,34	0,31	0,46	0,36	0,32
			10	0,35	0,30	0,29	0,43	0,34	0,31	0,48	0,36	0,32
			100	0,34	0,30	0,29	0,43	0,34	0,31	0,48	0,36	0,32
			1000	0,34	0,30	0,29	0,43	0,34	0,31	0,48	0,36	0,32
			10000	0,34	0,30	0,29	0,43	0,34	0,31	0,48	0,36	0,32
	25	CPI e II	0,1	0,37	0,33	0,31	0,45	0,38	0,34	0,48	0,39	0,35
			1	0,38	0,32	0,31	0,48	0,39	0,34	0,54	0,41	0,36
			10	0,37	0,32	0,30	0,50	0,39	0,34	0,57	0,43	0,37
			100	0,37	0,32	0,30	0,50	0,39	0,34	0,57	0,43	0,37
			1000	0,37	0,32	0,30	0,50	0,39	0,34	0,57	0,43	0,37
			10000	0,37	0,32	0,30	0,50	0,39	0,34	0,57	0,43	0,37
		CPIII e IV	0,1	0,41	0,34	0,32	0,54	0,43	0,38	0,58	0,47	0,41
			1	0,42	0,34	0,31	0,60	0,46	0,40	0,70	0,52	0,44
			10	0,42	0,34	0,31	0,64	0,47	0,40	0,78	0,55	0,46
100			0,42	0,33	0,30	0,65	0,48	0,40	0,79	0,56	0,46	
1000			0,42	0,33	0,30	0,65	0,48	0,40	0,79	0,56	0,46	
10000			0,42	0,33	0,30	0,65	0,48	0,40	0,79	0,56	0,46	
CPV		0,1	0,35	0,31	0,30	0,41	0,35	0,31	0,43	0,35	0,32	
		1	0,35	0,31	0,29	0,43	0,35	0,31	0,46	0,36	0,32	
		10	0,35	0,30	0,29	0,44	0,35	0,31	0,48	0,37	0,32	
		100	0,35	0,30	0,29	0,44	0,35	0,31	0,48	0,37	0,32	
		1000	0,35	0,30	0,29	0,44	0,35	0,31	0,48	0,37	0,32	
		10000	0,35	0,30	0,29	0,44	0,35	0,31	0,48	0,37	0,32	
35	CPI e II	0,1	0,38	0,33	0,31	0,46	0,38	0,34	0,49	0,40	0,36	
		1	0,38	0,33	0,31	0,49	0,39	0,35	0,54	0,42	0,37	
		10	0,38	0,32	0,30	0,51	0,40	0,35	0,58	0,43	0,37	
		100	0,38	0,32	0,30	0,51	0,40	0,35	0,58	0,43	0,37	
		1000	0,38	0,32	0,30	0,51	0,40	0,35	0,58	0,43	0,37	
		10000	0,38	0,32	0,30	0,51	0,40	0,35	0,58	0,43	0,37	
	CPIII e IV	0,1	0,42	0,35	0,33	0,55	0,44	0,39	0,59	0,47	0,42	
		1	0,43	0,35	0,32	0,61	0,47	0,41	0,71	0,53	0,45	
		10	0,43	0,35	0,32	0,66	0,49	0,42	0,79	0,57	0,47	
		100	0,43	0,35	0,31	0,66	0,49	0,42	0,80	0,57	0,48	
		1000	0,43	0,35	0,31	0,66	0,49	0,42	0,80	0,57	0,48	
		10000	0,43	0,35	0,31	0,66	0,49	0,42	0,80	0,57	0,48	
	CPV	0,1	0,36	0,32	0,30	0,41	0,35	0,32	0,43	0,36	0,32	
		1	0,36	0,31	0,30	0,43	0,35	0,32	0,47	0,37	0,32	
		10	0,35	0,31	0,29	0,44	0,35	0,32	0,48	0,37	0,32	
		100	0,35	0,31	0,29	0,44	0,35	0,31	0,48	0,37	0,32	
		1000	0,35	0,31	0,29	0,44	0,35	0,31	0,48	0,37	0,32	
		10000	0,35	0,31	0,29	0,44	0,35	0,31	0,48	0,37	0,32	

Continuação

ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
10-15	15	CPI e II	0,1	0,35	0,31	0,30	0,44	0,36	0,32	0,47	0,38	0,34
			1	0,35	0,30	0,29	0,47	0,37	0,33	0,54	0,40	0,35
			10	0,35	0,29	0,28	0,49	0,37	0,32	0,57	0,41	0,35
			100	0,35	0,29	0,28	0,49	0,37	0,32	0,57	0,41	0,35
			1000	0,35	0,29	0,28	0,49	0,37	0,32	0,57	0,41	0,35
			10000	0,35	0,29	0,28	0,49	0,37	0,32	0,57	0,41	0,35
		CPIII e IV	0,1	0,38	0,32	0,30	0,52	0,41	0,36	0,57	0,45	0,39
			1	0,39	0,31	0,29	0,59	0,44	0,38	0,70	0,51	0,42
			10	0,39	0,31	0,29	0,63	0,46	0,38	0,78	0,54	0,44
			100	0,39	0,31	0,28	0,64	0,46	0,38	0,78	0,54	0,44
			1000	0,39	0,31	0,28	0,64	0,46	0,38	0,78	0,54	0,44
			10000	0,39	0,31	0,28	0,64	0,46	0,38	0,78	0,53	0,44
		CPV	0,1	0,33	0,29	0,29	0,40	0,33	0,30	0,42	0,34	0,30
			1	0,33	0,29	0,28	0,41	0,33	0,30	0,46	0,35	0,31
			10	0,32	0,28	0,27	0,42	0,33	0,29	0,47	0,35	0,30
			100	0,32	0,28	0,27	0,42	0,33	0,29	0,47	0,35	0,30
			1000	0,32	0,28	0,27	0,42	0,33	0,29	0,47	0,35	0,30
			10000	0,32	0,28	0,27	0,42	0,33	0,29	0,47	0,35	0,30
	25	CPI e II	0,1	0,36	0,31	0,29	0,44	0,36	0,33	0,48	0,39	0,34
			1	0,36	0,30	0,29	0,48	0,38	0,33	0,54	0,41	0,35
			10	0,36	0,30	0,28	0,50	0,38	0,33	0,58	0,42	0,36
			100	0,36	0,30	0,28	0,50	0,38	0,33	0,58	0,42	0,36
			1000	0,36	0,30	0,28	0,50	0,38	0,33	0,58	0,42	0,36
			10000	0,36	0,30	0,28	0,50	0,38	0,33	0,58	0,42	0,36
		CPIII e IV	0,1	0,40	0,33	0,31	0,53	0,42	0,37	0,58	0,46	0,40
			1	0,40	0,33	0,30	0,60	0,46	0,39	0,72	0,52	0,44
			10	0,41	0,32	0,29	0,66	0,48	0,40	0,80	0,56	0,46
			100	0,41	0,32	0,29	0,66	0,48	0,40	0,80	0,56	0,46
			1000	0,41	0,32	0,29	0,66	0,48	0,40	0,80	0,56	0,46
			10000	0,41	0,32	0,29	0,66	0,48	0,40	0,80	0,55	0,46
		CPV	0,1	0,33	0,29	0,28	0,40	0,33	0,30	0,42	0,34	0,31
			1	0,33	0,29	0,27	0,42	0,33	0,30	0,46	0,35	0,31
			10	0,33	0,28	0,27	0,43	0,33	0,30	0,48	0,36	0,31
			100	0,33	0,28	0,26	0,43	0,33	0,30	0,48	0,36	0,31
			1000	0,33	0,28	0,26	0,43	0,33	0,30	0,48	0,36	0,31
			10000	0,33	0,28	0,26	0,43	0,33	0,30	0,48	0,36	0,31
35	CPI e II	0,1	0,36	0,31	0,29	0,45	0,37	0,33	0,48	0,39	0,35	
		1	0,36	0,31	0,29	0,48	0,38	0,34	0,55	0,41	0,36	
		10	0,36	0,31	0,28	0,50	0,39	0,34	0,58	0,43	0,36	
		100	0,36	0,30	0,28	0,51	0,39	0,34	0,58	0,43	0,36	
		1000	0,36	0,30	0,28	0,51	0,39	0,34	0,58	0,43	0,36	
		10000	0,36	0,30	0,28	0,51	0,39	0,34	0,58	0,43	0,36	
	CPIII e IV	0,1	0,41	0,34	0,31	0,54	0,43	0,38	0,58	0,47	0,41	
		1	0,42	0,34	0,31	0,61	0,47	0,40	0,73	0,54	0,45	
		10	0,42	0,34	0,30	0,67	0,49	0,41	0,82	0,58	0,48	
		100	0,43	0,34	0,30	0,68	0,49	0,42	0,82	0,58	0,48	
		1000	0,43	0,34	0,30	0,68	0,49	0,42	0,82	0,58	0,48	
		10000	0,43	0,34	0,30	0,68	0,49	0,42	0,82	0,58	0,48	
	CPV	0,1	0,33	0,29	0,28	0,40	0,33	0,30	0,42	0,35	0,31	
		1	0,33	0,29	0,27	0,42	0,34	0,30	0,46	0,36	0,31	
		10	0,33	0,29	0,27	0,43	0,34	0,30	0,48	0,36	0,31	
		100	0,33	0,28	0,26	0,43	0,34	0,30	0,48	0,36	0,31	
		1000	0,33	0,28	0,26	0,43	0,34	0,30	0,48	0,36	0,31	
		10000	0,33	0,28	0,26	0,43	0,34	0,30	0,48	0,36	0,31	

Conclusão

APÊNDICE D.- Tensão Resultante Final σ_R .
Valores em MPa.

C25												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
0-4	15	CPI e II	0,1	0,16	0,12	0,09	0,52	0,45	0,41	0,78	0,69	0,63
			1	0,72	0,56	0,43	1,93	1,84	1,73	2,53	2,53	2,47
			10	1,09	0,89	0,70	2,62	2,64	2,57	3,19	3,43	3,48
			100	1,15	0,94	0,74	2,71	2,77	2,70	3,26	3,56	3,63
			1000	1,16	0,95	0,75	2,72	2,78	2,71	3,27	3,57	3,64
			10000	1,16	0,95	0,75	2,72	2,78	2,71	3,27	3,57	3,64
		CPIII e IV	0,1	0,16	0,12	0,09	0,51	0,45	0,41	0,76	0,68	0,63
			1	0,71	0,57	0,44	1,82	1,78	1,71	2,30	2,38	2,38
			10	1,09	0,91	0,72	2,37	2,51	2,51	2,72	3,11	3,26
			100	1,15	0,97	0,76	2,44	2,62	2,63	2,76	3,20	3,38
			1000	1,15	0,97	0,77	2,45	2,63	2,64	2,77	3,21	3,39
			10000	1,15	0,97	0,77	2,45	2,63	2,64	2,77	3,21	3,40
		CPV	0,1	0,16	0,12	0,09	0,52	0,45	0,41	0,79	0,69	0,64
			1	0,72	0,56	0,43	2,01	1,88	1,76	2,69	2,63	2,55
			10	1,11	0,89	0,69	2,78	2,74	2,63	3,48	3,65	3,64
			100	1,17	0,94	0,74	2,89	2,87	2,77	3,59	3,80	3,81
			1000	1,18	0,95	0,74	2,90	2,89	2,78	3,60	3,81	3,82
			10000	1,18	0,95	0,74	2,90	2,89	2,78	3,60	3,81	3,83
	25	CPI e II	0,1	0,17	0,14	0,11	0,52	0,46	0,43	0,78	0,70	0,65
			1	0,75	0,63	0,52	1,94	1,87	1,81	2,53	2,55	2,53
			10	1,14	1,00	0,83	2,62	2,68	2,66	3,17	3,44	3,54
			100	1,20	1,06	0,89	2,71	2,80	2,79	3,25	3,56	3,68
			1000	1,20	1,06	0,89	2,72	2,82	2,81	3,25	3,58	3,70
			10000	1,20	1,06	0,89	2,72	2,82	2,81	3,25	3,58	3,70
		CPIII e IV	0,1	0,17	0,14	0,11	0,52	0,46	0,43	0,77	0,69	0,65
			1	0,74	0,64	0,53	1,81	1,80	1,76	2,27	2,38	2,40
			10	1,11	1,01	0,85	2,34	2,51	2,56	2,67	3,07	3,25
			100	1,17	1,07	0,91	2,40	2,61	2,68	2,70	3,15	3,37
			1000	1,18	1,07	0,91	2,41	2,63	2,69	2,71	3,16	3,38
			10000	1,18	1,08	0,91	2,41	2,63	2,69	2,71	3,16	3,38
		CPV	0,1	0,17	0,14	0,11	0,53	0,47	0,43	0,79	0,71	0,66
			1	0,75	0,64	0,52	2,02	1,92	1,84	2,69	2,67	2,61
			10	1,15	1,00	0,83	2,79	2,80	2,74	3,48	3,68	3,73
			100	1,22	1,06	0,89	2,90	2,93	2,88	3,59	3,83	3,89
			1000	1,23	1,07	0,89	2,91	2,94	2,90	3,60	3,84	3,91
			10000	1,23	1,07	0,89	2,91	2,95	2,90	3,60	3,85	3,91
35	CPI e II	0,1	0,17	0,15	0,13	0,53	0,47	0,44	0,79	0,70	0,66	
		1	0,76	0,68	0,58	1,94	1,89	1,84	2,52	2,56	2,55	
		10	1,15	1,06	0,93	2,61	2,69	2,70	3,15	3,44	3,55	
		100	1,22	1,12	0,99	2,70	2,81	2,83	3,23	3,56	3,70	
		1000	1,22	1,13	0,99	2,71	2,83	2,85	3,24	3,57	3,71	
		10000	1,22	1,13	0,99	2,71	2,83	2,85	3,24	3,57	3,71	
	CPIII e IV	0,1	0,17	0,15	0,13	0,52	0,47	0,44	0,77	0,69	0,65	
		1	0,75	0,68	0,59	1,79	1,80	1,79	2,25	2,36	2,41	
		10	1,12	1,06	0,94	2,31	2,50	2,57	2,63	3,03	3,23	
		100	1,18	1,12	1,00	2,37	2,60	2,69	2,66	3,11	3,34	
		1000	1,19	1,13	1,00	2,38	2,61	2,70	2,67	3,12	3,35	
		10000	1,19	1,13	1,00	2,38	2,61	2,70	2,67	3,12	3,35	
	CPV	0,1	0,17	0,15	0,13	0,53	0,47	0,44	0,80	0,71	0,67	
		1	0,77	0,68	0,59	2,02	1,94	1,88	2,69	2,68	2,64	
		10	1,18	1,07	0,93	2,79	2,82	2,79	3,48	3,69	3,76	
		100	1,24	1,13	0,99	2,90	2,95	2,94	3,58	3,84	3,92	
		1000	1,25	1,14	0,99	2,91	2,96	2,95	3,59	3,85	3,94	
		10000	1,25	1,14	1,00	2,91	2,97	2,95	3,59	3,85	3,94	

Continua

C25												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
5-9	15	CPI e II	0,1	0,21	0,16	0,12	0,68	0,59	0,54	1,00	0,89	0,83
			1	0,92	0,73	0,57	2,34	2,29	2,19	2,95	3,06	3,04
			10	1,38	1,14	0,89	3,06	3,20	3,16	3,55	3,99	4,14
			100	1,45	1,21	0,95	3,15	3,33	3,31	3,62	4,12	4,29
			1000	1,46	1,21	0,96	3,16	3,34	3,32	3,63	4,13	4,31
			10000	1,46	1,21	0,96	3,16	3,35	3,33	3,63	4,13	4,31
		CPIII e IV	0,1	0,21	0,16	0,12	0,67	0,59	0,53	0,98	0,88	0,82
			1	0,91	0,74	0,58	2,16	2,19	2,14	2,60	2,82	2,87
			10	1,35	1,16	0,92	2,68	2,98	3,04	2,91	3,50	3,78
			100	1,42	1,23	0,98	2,74	3,08	3,17	2,95	3,59	3,90
			1000	1,43	1,23	0,98	2,75	3,10	3,18	2,95	3,60	3,91
			10000	1,43	1,23	0,98	2,75	3,10	3,18	2,95	3,60	3,92
		CPV	0,1	0,21	0,16	0,12	0,68	0,60	0,54	1,02	0,90	0,83
			1	0,93	0,73	0,57	2,46	2,36	2,23	3,18	3,22	3,16
			10	1,40	1,14	0,89	3,30	3,36	3,27	3,97	4,32	4,40
			100	1,48	1,21	0,95	3,42	3,51	3,43	4,07	4,48	4,58
			1000	1,49	1,22	0,96	3,43	3,52	3,45	4,09	4,50	4,60
			10000	1,49	1,22	0,96	3,43	3,53	3,45	4,09	4,50	4,60
	25	CPI e II	0,1	0,22	0,18	0,15	0,68	0,61	0,56	1,01	0,91	0,85
			1	0,96	0,82	0,68	2,35	2,33	2,28	2,94	3,08	3,10
			10	1,43	1,27	1,07	3,05	3,24	3,27	3,52	4,00	4,20
			100	1,50	1,35	1,14	3,14	3,37	3,42	3,59	4,12	4,35
			1000	1,51	1,36	1,15	3,15	3,38	3,43	3,60	4,13	4,37
			10000	1,51	1,36	1,15	3,15	3,39	3,44	3,60	4,13	4,37
		CPIII e IV	0,1	0,22	0,18	0,15	0,67	0,60	0,56	0,98	0,89	0,84
			1	0,94	0,82	0,69	2,14	2,21	2,20	2,56	2,80	2,89
			10	1,38	1,28	1,09	2,64	2,96	3,08	2,84	3,44	3,75
100			1,45	1,35	1,15	2,69	3,06	3,21	2,87	3,51	3,86	
1000			1,46	1,36	1,16	2,70	3,07	3,22	2,88	3,52	3,87	
10000			1,46	1,36	1,16	2,70	3,07	3,23	2,88	3,52	3,87	
CPV		0,1	0,22	0,18	0,15	0,69	0,61	0,57	1,03	0,92	0,86	
		1	0,97	0,83	0,68	2,48	2,42	2,34	3,19	3,26	3,24	
		10	1,46	1,29	1,08	3,31	3,42	3,41	3,97	4,36	4,49	
		100	1,54	1,36	1,15	3,42	3,57	3,57	4,07	4,51	4,68	
		1000	1,55	1,37	1,15	3,44	3,59	3,59	4,08	4,53	4,70	
		10000	1,55	1,37	1,15	3,44	3,59	3,59	4,08	4,53	4,70	
35	CPI e II	0,1	0,23	0,20	0,17	0,69	0,62	0,58	1,01	0,92	0,86	
		1	0,98	0,88	0,76	2,35	2,35	2,32	2,94	3,08	3,13	
		10	1,45	1,35	1,19	3,04	3,25	3,31	3,50	3,99	4,21	
		100	1,52	1,43	1,26	3,13	3,38	3,46	3,57	4,10	4,36	
		1000	1,53	1,44	1,27	3,14	3,39	3,48	3,58	4,12	4,37	
		10000	1,53	1,44	1,27	3,14	3,39	3,48	3,58	4,12	4,37	
	CPIII e IV	0,1	0,23	0,20	0,17	0,67	0,61	0,57	0,98	0,90	0,85	
		1	0,95	0,87	0,76	2,13	2,21	2,22	2,53	2,78	2,89	
		10	1,39	1,34	1,19	2,60	2,94	3,08	2,79	3,38	3,70	
		100	1,46	1,42	1,27	2,65	3,03	3,21	2,82	3,45	3,81	
		1000	1,46	1,42	1,28	2,66	3,04	3,22	2,83	3,46	3,82	
		10000	1,46	1,42	1,28	2,66	3,04	3,22	2,83	3,46	3,82	
	CPV	0,1	0,23	0,20	0,17	0,69	0,62	0,58	1,03	0,93	0,87	
		1	0,99	0,88	0,76	2,48	2,44	2,39	3,19	3,28	3,28	
		10	1,49	1,37	1,20	3,31	3,45	3,47	3,96	4,37	4,53	
		100	1,57	1,45	1,28	3,42	3,60	3,63	4,06	4,52	4,71	
		1000	1,58	1,46	1,28	3,43	3,61	3,65	4,07	4,53	4,73	
		10000	1,58	1,46	1,28	3,43	3,61	3,65	4,07	4,54	4,73	

Continuação

C25												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
15	15	CPI e II	0,1	0,26	0,20	0,15	0,83	0,73	0,66	1,21	1,09	1,01
			1	1,11	0,89	0,69	2,68	2,68	2,59	3,26	3,49	3,52
			10	1,63	1,37	1,08	3,39	3,66	3,67	3,80	4,42	4,67
			100	1,71	1,45	1,14	3,48	3,79	3,83	3,97	4,56	4,83
			1000	1,72	1,45	1,15	3,49	3,81	3,84	4,01	4,58	4,85
			10000	1,72	1,46	1,15	3,49	3,81	3,85	4,01	4,58	4,85
		CPIII e IV	0,1	0,26	0,20	0,15	0,81	0,72	0,66	1,17	1,07	1,00
			1	1,09	0,90	0,70	2,43	2,54	2,51	2,79	3,15	3,28
			10	1,58	1,38	1,10	2,89	3,33	3,47	3,02	3,78	4,17
			100	1,66	1,46	1,17	2,94	3,44	3,61	3,26	3,87	4,29
			1000	1,67	1,47	1,18	2,95	3,45	3,62	3,33	3,89	4,31
			10000	1,67	1,47	1,18	2,95	3,45	3,62	3,34	3,89	4,31
		CPV	0,1	0,26	0,20	0,15	0,84	0,73	0,67	1,23	1,11	1,02
			1	1,12	0,89	0,69	2,85	2,79	2,67	3,57	3,72	3,70
			10	1,67	1,38	1,08	3,71	3,88	3,83	4,34	4,87	5,03
			100	1,76	1,46	1,15	3,83	4,04	4,01	4,49	5,03	5,23
			1000	1,77	1,47	1,16	3,84	4,06	4,03	4,52	5,05	5,25
			10000	1,77	1,47	1,16	3,85	4,06	4,03	4,53	5,06	5,25
	25	CPI e II	0,1	0,28	0,23	0,18	0,83	0,75	0,70	1,22	1,11	1,04
			1	1,15	1,00	0,83	2,68	2,73	2,70	3,25	3,51	3,59
			10	1,69	1,53	1,30	3,37	3,70	3,79	3,77	4,42	4,72
			100	1,77	1,62	1,37	3,46	3,83	3,95	3,92	4,55	4,88
			1000	1,78	1,63	1,38	3,47	3,84	3,96	3,96	4,57	4,90
			10000	1,78	1,63	1,38	3,47	3,85	3,96	3,97	4,57	4,90
		CPIII e IV	0,1	0,28	0,23	0,18	0,82	0,74	0,69	1,17	1,08	1,02
			1	1,12	1,00	0,84	2,40	2,55	2,57	2,74	3,12	3,28
			10	1,61	1,52	1,30	2,83	3,30	3,50	2,94	3,69	4,11
100			1,69	1,60	1,38	2,88	3,40	3,63	3,22	3,79	4,22	
1000			1,69	1,61	1,39	2,88	3,41	3,65	3,31	3,81	4,24	
10000			1,69	1,61	1,39	2,88	3,41	3,65	3,32	3,81	4,24	
CPV		0,1	0,28	0,23	0,18	0,85	0,76	0,70	1,24	1,13	1,06	
		1	1,18	1,01	0,84	2,86	2,85	2,79	3,57	3,76	3,79	
		10	1,74	1,55	1,31	3,72	3,96	3,99	4,32	4,90	5,13	
		100	1,83	1,64	1,39	3,84	4,12	4,17	4,47	5,07	5,33	
		1000	1,84	1,65	1,40	3,85	4,13	4,19	4,50	5,09	5,35	
		10000	1,84	1,65	1,40	3,85	4,13	4,19	4,50	5,09	5,35	
35	CPI e II	0,1	0,28	0,24	0,21	0,84	0,76	0,71	1,22	1,12	1,06	
		1	1,17	1,07	0,93	2,68	2,75	2,74	3,24	3,51	3,61	
		10	1,71	1,62	1,44	3,36	3,70	3,83	3,74	4,40	4,72	
		100	1,79	1,71	1,52	3,44	3,83	3,99	3,88	4,53	4,88	
		1000	1,80	1,72	1,53	3,45	3,85	4,01	3,91	4,55	4,90	
		10000	1,80	1,72	1,53	3,45	3,85	4,01	3,92	4,55	4,90	
	CPIII e IV	0,1	0,28	0,24	0,21	0,82	0,74	0,70	1,17	1,09	1,04	
		1	1,14	1,06	0,93	2,38	2,54	2,59	2,71	3,09	3,27	
		10	1,62	1,59	1,43	2,79	3,26	3,49	2,88	3,61	4,04	
		100	1,69	1,68	1,51	2,83	3,35	3,62	3,16	3,72	4,15	
		1000	1,70	1,69	1,52	2,83	3,36	3,63	3,25	3,74	4,17	
		10000	1,70	1,69	1,52	2,83	3,36	3,63	3,26	3,74	4,17	
	CPV	0,1	0,28	0,24	0,21	0,85	0,77	0,72	1,25	1,13	1,07	
		1	1,20	1,08	0,94	2,87	2,88	2,85	3,57	3,78	3,83	
		10	1,78	1,65	1,46	3,72	3,98	4,06	4,31	4,90	5,17	
		100	1,86	1,75	1,55	3,83	4,14	4,24	4,45	5,06	5,36	
		1000	1,87	1,76	1,55	3,84	4,16	4,26	4,47	5,08	5,38	
		10000	1,88	1,76	1,56	3,85	4,16	4,26	4,47	5,09	5,38	

Continuação

C30												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
0-4	15	CPI e II	0,1	0,18	0,13	0,10	0,57	0,49	0,45	0,85	0,75	0,69
			1	0,78	0,62	0,48	2,12	2,01	1,90	2,78	2,77	2,71
			10	1,20	0,97	0,76	2,87	2,90	2,81	3,49	3,76	3,81
			100	1,26	1,03	0,81	2,97	3,03	2,96	3,58	3,90	3,97
			1000	1,27	1,04	0,82	2,98	3,04	2,97	3,59	3,91	3,99
			10000	1,27	1,04	0,82	2,98	3,05	2,97	3,59	3,91	3,99
		CPIII e IV	0,1	0,18	0,13	0,10	0,56	0,49	0,45	0,84	0,74	0,69
			1	0,78	0,62	0,49	1,99	1,95	1,87	2,52	2,61	2,60
			10	1,19	0,99	0,78	2,60	2,75	2,75	2,98	3,40	3,57
			100	1,26	1,06	0,84	2,67	2,87	2,88	3,03	3,50	3,70
			1000	1,26	1,07	0,84	2,68	2,88	2,89	3,03	3,51	3,72
			10000	1,26	1,07	0,84	2,68	2,88	2,90	3,03	3,52	3,72
		CPV	0,1	0,18	0,13	0,10	0,57	0,50	0,45	0,86	0,76	0,70
			1	0,79	0,62	0,48	2,20	2,06	1,92	2,94	2,89	2,79
			10	1,21	0,97	0,76	3,04	3,00	2,88	3,82	4,00	3,99
			100	1,28	1,03	0,81	3,17	3,15	3,03	3,93	4,16	4,17
			1000	1,29	1,04	0,81	3,18	3,16	3,05	3,94	4,18	4,19
			10000	1,29	1,04	0,81	3,18	3,17	3,05	3,95	4,18	4,19
	25	CPI e II	0,1	0,18	0,15	0,12	0,58	0,51	0,47	0,86	0,77	0,71
			1	0,82	0,69	0,57	2,12	2,05	1,98	2,77	2,80	2,77
			10	1,24	1,09	0,91	2,87	2,94	2,92	3,47	3,77	3,87
			100	1,31	1,16	0,97	2,97	3,07	3,06	3,55	3,91	4,03
			1000	1,32	1,17	0,98	2,98	3,09	3,08	3,56	3,92	4,05
			10000	1,32	1,17	0,98	2,98	3,09	3,08	3,56	3,92	4,05
		CPIII e IV	0,1	0,18	0,15	0,12	0,57	0,50	0,47	0,84	0,76	0,71
			1	0,81	0,70	0,58	1,98	1,97	1,93	2,48	2,60	2,63
			10	1,22	1,10	0,93	2,56	2,75	2,80	2,92	3,36	3,56
			100	1,29	1,17	0,99	2,63	2,86	2,93	2,96	3,45	3,69
			1000	1,29	1,18	1,00	2,64	2,88	2,95	2,97	3,46	3,70
			10000	1,29	1,18	1,00	2,64	2,88	2,95	2,97	3,46	3,70
		CPV	0,1	0,19	0,15	0,12	0,58	0,51	0,47	0,87	0,77	0,72
			1	0,83	0,70	0,57	2,21	2,11	2,01	2,95	2,92	2,86
			10	1,26	1,10	0,91	3,05	3,06	3,00	3,82	4,04	4,08
			100	1,34	1,16	0,97	3,17	3,21	3,16	3,93	4,20	4,26
			1000	1,34	1,17	0,98	3,19	3,22	3,18	3,94	4,21	4,28
			10000	1,34	1,17	0,98	3,19	3,23	3,18	3,94	4,21	4,29
	35	CPI e II	0,1	0,19	0,16	0,14	0,58	0,51	0,48	0,86	0,77	0,73
			1	0,83	0,74	0,64	2,12	2,07	2,02	2,77	2,80	2,79
			10	1,26	1,16	1,02	2,86	2,95	2,96	3,45	3,77	3,89
			100	1,33	1,23	1,08	2,96	3,08	3,10	3,54	3,90	4,05
			1000	1,34	1,24	1,09	2,97	3,10	3,12	3,54	3,91	4,07
			10000	1,34	1,24	1,09	2,97	3,10	3,12	3,55	3,91	4,07
		CPIII e IV	0,1	0,19	0,16	0,14	0,57	0,51	0,48	0,84	0,76	0,72
			1	0,82	0,74	0,64	1,97	1,98	1,96	2,46	2,59	2,63
			10	1,23	1,16	1,03	2,53	2,74	2,82	2,88	3,32	3,54
			100	1,30	1,23	1,09	2,60	2,84	2,94	2,92	3,40	3,66
			1000	1,30	1,24	1,10	2,60	2,86	2,96	2,92	3,41	3,67
			10000	1,30	1,24	1,10	2,60	2,86	2,96	2,92	3,41	3,67
		CPV	0,1	0,19	0,16	0,14	0,58	0,52	0,48	0,87	0,78	0,73
			1	0,84	0,74	0,64	2,21	2,13	2,06	2,95	2,94	2,90
			10	1,29	1,17	1,02	3,05	3,09	3,06	3,81	4,05	4,12
			100	1,36	1,24	1,08	3,17	3,23	3,22	3,92	4,20	4,30
			1000	1,37	1,25	1,09	3,19	3,25	3,23	3,94	4,22	4,32
			10000	1,37	1,25	1,09	3,19	3,25	3,23	3,94	4,22	4,32

Continuação

C30												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
5-9	15	CPI e II	0,1	0,23	0,18	0,13	0,74	0,65	0,59	1,10	0,98	0,91
			1	1,01	0,80	0,62	2,57	2,51	2,39	3,23	3,35	3,33
			10	1,51	1,25	0,98	3,35	3,50	3,46	3,89	4,37	4,53
			100	1,59	1,32	1,04	3,45	3,65	3,62	3,97	4,51	4,70
			1000	1,60	1,33	1,05	3,46	3,66	3,64	3,98	4,53	4,72
			10000	1,60	1,33	1,05	3,46	3,67	3,64	3,98	4,53	4,72
		CPIII e IV	0,1	0,23	0,18	0,13	0,73	0,64	0,59	1,07	0,96	0,90
			1	1,00	0,81	0,63	2,37	2,40	2,34	2,85	3,09	3,15
			10	1,48	1,27	1,01	2,94	3,26	3,33	3,19	3,84	4,14
			100	1,56	1,34	1,07	3,01	3,38	3,47	3,23	3,93	4,27
			1000	1,57	1,35	1,08	3,01	3,39	3,49	3,23	3,94	4,29
			10000	1,57	1,35	1,08	3,01	3,39	3,49	3,24	3,94	4,29
		CPV	0,1	0,23	0,18	0,13	0,75	0,65	0,59	1,12	0,99	0,91
			1	1,02	0,80	0,62	2,70	2,59	2,45	3,48	3,53	3,46
			10	1,54	1,25	0,98	3,62	3,68	3,58	4,35	4,74	4,82
			100	1,62	1,33	1,04	3,74	3,84	3,76	4,46	4,91	5,02
			1000	1,63	1,34	1,05	3,76	3,86	3,78	4,48	4,92	5,04
			10000	1,63	1,34	1,05	3,76	3,86	3,78	4,48	4,93	5,04
	25	CPI e II	0,1	0,24	0,20	0,16	0,75	0,67	0,62	1,10	1,00	0,93
			1	1,05	0,90	0,75	2,57	2,56	2,49	3,23	3,37	3,40
			10	1,56	1,40	1,18	3,34	3,55	3,58	3,86	4,38	4,60
			100	1,64	1,48	1,25	3,44	3,69	3,74	3,94	4,51	4,76
			1000	1,65	1,49	1,26	3,45	3,71	3,76	3,95	4,53	4,78
			10000	1,65	1,49	1,26	3,45	3,71	3,76	3,95	4,53	4,78
CPIII e IV		0,1	0,24	0,20	0,16	0,73	0,66	0,61	1,07	0,98	0,92	
		1	1,03	0,90	0,75	2,35	2,42	2,41	2,80	3,07	3,17	
		10	1,51	1,40	1,19	2,89	3,24	3,38	3,11	3,77	4,11	
		100	1,59	1,48	1,26	2,95	3,36	3,52	3,15	3,85	4,23	
		1000	1,60	1,49	1,27	2,95	3,37	3,53	3,15	3,86	4,24	
		10000	1,60	1,49	1,27	2,95	3,37	3,53	3,16	3,86	4,24	
CPV		0,1	0,25	0,20	0,16	0,76	0,67	0,62	1,12	1,01	0,94	
		1	1,07	0,91	0,75	2,71	2,65	2,56	3,49	3,57	3,55	
		10	1,60	1,41	1,18	3,63	3,75	3,73	4,35	4,78	4,92	
		100	1,69	1,49	1,25	3,75	3,91	3,91	4,46	4,94	5,12	
		1000	1,70	1,50	1,26	3,76	3,93	3,93	4,47	4,96	5,15	
		10000	1,70	1,50	1,26	3,76	3,93	3,93	4,47	4,96	5,15	
35	CPI e II	0,1	0,25	0,21	0,18	0,75	0,67	0,63	1,11	1,00	0,95	
		1	1,07	0,96	0,83	2,57	2,57	2,54	3,22	3,38	3,42	
		10	1,59	1,48	1,31	3,33	3,56	3,63	3,84	4,37	4,61	
		100	1,67	1,57	1,38	3,42	3,70	3,79	3,91	4,50	4,77	
		1000	1,68	1,57	1,39	3,43	3,71	3,81	3,92	4,51	4,79	
		10000	1,68	1,58	1,39	3,44	3,72	3,81	3,92	4,51	4,79	
	CPIII e IV	0,1	0,25	0,21	0,18	0,74	0,67	0,63	1,07	0,98	0,93	
		1	1,04	0,96	0,83	2,33	2,42	2,43	2,77	3,04	3,16	
		10	1,52	1,47	1,31	2,85	3,22	3,38	3,06	3,71	4,06	
		100	1,60	1,55	1,39	2,90	3,32	3,51	3,09	3,78	4,17	
		1000	1,60	1,56	1,40	2,91	3,33	3,53	3,10	3,79	4,18	
		10000	1,60	1,56	1,40	2,91	3,33	3,53	3,10	3,79	4,19	
	CPV	0,1	0,25	0,21	0,18	0,76	0,68	0,64	1,13	1,02	0,96	
		1	1,09	0,97	0,84	2,72	2,67	2,61	3,49	3,59	3,59	
		10	1,63	1,50	1,32	3,62	3,78	3,80	4,34	4,78	4,96	
		100	1,72	1,59	1,40	3,75	3,94	3,98	4,45	4,95	5,16	
		1000	1,73	1,60	1,41	3,76	3,96	4,00	4,46	4,97	5,18	
		10000	1,73	1,60	1,41	3,76	3,96	4,00	4,46	4,97	5,18	

Continuação

C30												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
10-15	15	CPI e II	0,1	0,29	0,22	0,17	0,91	0,80	0,73	1,32	1,19	1,11
			1	1,21	0,97	0,76	2,94	2,94	2,84	3,57	3,82	3,86
			10	1,78	1,50	1,18	3,71	4,00	4,02	4,17	4,85	5,11
			100	1,87	1,58	1,25	3,81	4,16	4,19	4,34	5,00	5,29
			1000	1,88	1,59	1,26	3,82	4,17	4,21	4,39	5,02	5,32
			10000	1,88	1,59	1,26	3,82	4,17	4,21	4,39	5,02	5,32
		CPIII e IV	0,1	0,29	0,22	0,17	0,89	0,79	0,72	1,28	1,17	1,09
			1	1,19	0,98	0,77	2,66	2,78	2,75	3,06	3,45	3,59
			10	1,73	1,51	1,21	3,17	3,65	3,80	3,31	4,14	4,57
			100	1,82	1,60	1,28	3,23	3,77	3,95	3,57	4,25	4,70
			1000	1,83	1,61	1,29	3,23	3,78	3,97	3,66	4,26	4,72
			10000	1,83	1,61	1,29	3,23	3,78	3,97	3,67	4,27	4,72
		CPV	0,1	0,29	0,22	0,17	0,92	0,80	0,73	1,35	1,21	1,12
			1	1,23	0,98	0,76	3,12	3,06	2,92	3,91	4,07	4,05
			10	1,83	1,51	1,19	4,07	4,26	4,20	4,75	5,33	5,51
			100	1,93	1,60	1,26	4,20	4,43	4,39	4,93	5,52	5,73
			1000	1,94	1,61	1,27	4,21	4,45	4,41	4,96	5,54	5,75
			10000	1,94	1,61	1,27	4,21	4,45	4,41	4,96	5,54	5,75
	25	CPI e II	0,1	0,30	0,25	0,20	0,91	0,82	0,76	1,33	1,21	1,14
			1	1,26	1,10	0,91	2,94	2,99	2,95	3,56	3,84	3,93
			10	1,85	1,68	1,42	3,70	4,05	4,15	4,13	4,84	5,17
			100	1,94	1,77	1,50	3,79	4,20	4,32	4,30	4,99	5,35
			1000	1,95	1,78	1,51	3,80	4,21	4,34	4,34	5,01	5,37
			10000	1,95	1,78	1,51	3,80	4,21	4,34	4,34	5,01	5,37
		CPIII e IV	0,1	0,30	0,25	0,20	0,89	0,81	0,75	1,28	1,18	1,12
			1	1,23	1,09	0,92	2,63	2,79	2,82	3,01	3,41	3,60
			10	1,77	1,66	1,43	3,10	3,62	3,84	3,22	4,04	4,50
			100	1,85	1,76	1,51	3,15	3,72	3,98	3,53	4,15	4,63
			1000	1,86	1,77	1,52	3,16	3,74	4,00	3,63	4,18	4,64
			10000	1,86	1,77	1,52	3,16	3,74	4,00	3,64	4,18	4,65
CPV	0,1	0,30	0,25	0,20	0,93	0,83	0,77	1,36	1,23	1,16		
	1	1,29	1,11	0,92	3,14	3,13	3,05	3,91	4,12	4,15		
	10	1,91	1,70	1,43	4,08	4,33	4,37	4,74	5,37	5,62		
	100	2,01	1,80	1,52	4,20	4,51	4,57	4,90	5,55	5,84		
	1000	2,02	1,81	1,53	4,22	4,53	4,59	4,93	5,57	5,86		
	10000	2,02	1,81	1,53	4,22	4,53	4,59	4,93	5,57	5,86		
35	CPI e II	0,1	0,31	0,27	0,23	0,92	0,83	0,78	1,33	1,22	1,16	
		1	1,29	1,17	1,02	2,94	3,01	3,01	3,55	3,84	3,96	
		10	1,87	1,78	1,58	3,68	4,05	4,20	4,10	4,82	5,18	
		100	1,96	1,87	1,67	3,77	4,20	4,37	4,25	4,96	5,35	
		1000	1,97	1,88	1,68	3,78	4,21	4,39	4,29	4,98	5,37	
		10000	1,97	1,89	1,68	3,78	4,22	4,39	4,29	4,98	5,37	
	CPIII e IV	0,1	0,31	0,27	0,23	0,89	0,82	0,77	1,28	1,19	1,14	
		1	1,24	1,16	1,01	2,60	2,78	2,84	2,97	3,38	3,58	
		10	1,77	1,74	1,57	3,05	3,57	3,83	3,16	3,96	4,43	
		100	1,85	1,84	1,66	3,10	3,67	3,96	3,47	4,08	4,55	
		1000	1,86	1,85	1,67	3,10	3,68	3,98	3,57	4,10	4,57	
		10000	1,86	1,85	1,67	3,10	3,68	3,98	3,58	4,10	4,57	
	CPV	0,1	0,31	0,27	0,23	0,93	0,84	0,79	1,37	1,24	1,17	
		1	1,32	1,18	1,03	3,14	3,16	3,12	3,91	4,14	4,20	
		10	1,94	1,81	1,60	4,07	4,36	4,44	4,72	5,37	5,66	
		100	2,04	1,91	1,69	4,20	4,53	4,64	4,87	5,55	5,87	
		1000	2,05	1,93	1,70	4,21	4,55	4,66	4,90	5,57	5,90	
		10000	2,05	1,93	1,70	4,21	4,55	4,67	4,90	5,57	5,90	

Continuação

C35												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
0-4	15	CPI e II	0,1	0,19	0,14	0,11	0,62	0,53	0,48	0,92	0,81	0,75
			1	0,85	0,67	0,51	2,29	2,17	2,05	3,00	3,00	2,92
			10	1,29	1,05	0,82	3,10	3,13	3,04	3,77	4,06	4,11
			100	1,37	1,12	0,88	3,21	3,27	3,19	3,86	4,21	4,29
			1000	1,37	1,12	0,88	3,22	3,29	3,21	3,87	4,22	4,31
			10000	1,37	1,13	0,88	3,22	3,29	3,21	3,87	4,22	4,31
		CPIII e IV	0,1	0,19	0,14	0,11	0,61	0,53	0,48	0,90	0,80	0,74
			1	0,84	0,67	0,52	2,15	2,11	2,02	2,72	2,82	2,81
			10	1,29	1,07	0,85	2,81	2,97	2,97	3,22	3,68	3,85
			100	1,36	1,14	0,90	2,89	3,10	3,11	3,27	3,79	4,00
			1000	1,36	1,15	0,91	2,90	3,11	3,13	3,28	3,80	4,02
			10000	1,36	1,15	0,91	2,90	3,11	3,13	3,28	3,80	4,02
		CPV	0,1	0,19	0,14	0,11	0,62	0,54	0,48	0,93	0,82	0,75
			1	0,85	0,67	0,51	2,37	2,22	2,08	3,18	3,12	3,01
			10	1,31	1,05	0,82	3,29	3,24	3,11	4,12	4,32	4,31
			100	1,38	1,12	0,87	3,42	3,40	3,28	4,25	4,49	4,50
			1000	1,39	1,12	0,88	3,43	3,42	3,29	4,26	4,51	4,53
			10000	1,39	1,13	0,88	3,43	3,42	3,29	4,26	4,51	4,53
	25	CPI e II	0,1	0,20	0,16	0,13	0,62	0,55	0,51	0,93	0,83	0,77
			1	0,88	0,75	0,62	2,29	2,22	2,14	2,99	3,02	2,99
			10	1,34	1,18	0,99	3,10	3,17	3,15	3,75	4,07	4,18
			100	1,42	1,25	1,05	3,20	3,32	3,31	3,84	4,22	4,36
			1000	1,42	1,26	1,06	3,22	3,33	3,32	3,85	4,23	4,37
			10000	1,43	1,26	1,06	3,22	3,33	3,32	3,85	4,23	4,38
		CPIII e IV	0,1	0,20	0,16	0,13	0,61	0,54	0,50	0,91	0,82	0,76
			1	0,87	0,76	0,63	2,14	2,13	2,09	2,68	2,81	2,84
			10	1,32	1,19	1,01	2,76	2,97	3,03	3,16	3,63	3,85
100			1,39	1,26	1,07	2,84	3,09	3,17	3,20	3,73	3,99	
1000			1,40	1,27	1,08	2,85	3,11	3,18	3,20	3,74	4,00	
10000			1,40	1,27	1,08	2,85	3,11	3,19	3,20	3,74	4,00	
CPV		0,1	0,20	0,16	0,13	0,63	0,55	0,51	0,94	0,84	0,78	
		1	0,89	0,75	0,62	2,39	2,28	2,18	3,19	3,16	3,09	
		10	1,37	1,18	0,99	3,30	3,31	3,24	4,12	4,36	4,41	
		100	1,44	1,26	1,05	3,43	3,47	3,41	4,24	4,53	4,61	
		1000	1,45	1,27	1,06	3,44	3,48	3,43	4,26	4,55	4,63	
		10000	1,45	1,27	1,06	3,44	3,48	3,43	4,26	4,55	4,63	
35	CPI e II	0,1	0,20	0,17	0,15	0,62	0,56	0,52	0,93	0,83	0,78	
		1	0,90	0,80	0,69	2,29	2,23	2,18	2,99	3,03	3,02	
		10	1,36	1,25	1,10	3,08	3,19	3,20	3,73	4,07	4,20	
		100	1,44	1,33	1,17	3,19	3,33	3,35	3,82	4,21	4,37	
		1000	1,45	1,34	1,17	3,20	3,34	3,37	3,83	4,22	4,39	
		10000	1,45	1,34	1,17	3,20	3,35	3,37	3,83	4,23	4,39	
	CPIII e IV	0,1	0,20	0,17	0,15	0,61	0,55	0,52	0,91	0,82	0,77	
		1	0,89	0,80	0,70	2,12	2,13	2,11	2,66	2,80	2,85	
		10	1,33	1,25	1,11	2,73	2,96	3,04	3,11	3,58	3,82	
		100	1,40	1,33	1,18	2,81	3,07	3,18	3,15	3,68	3,95	
		1000	1,41	1,34	1,19	2,81	3,08	3,19	3,16	3,69	3,96	
		10000	1,41	1,34	1,19	2,81	3,09	3,19	3,16	3,69	3,96	
	CPV	0,1	0,21	0,17	0,15	0,63	0,56	0,52	0,94	0,84	0,79	
		1	0,91	0,80	0,69	2,39	2,30	2,22	3,19	3,17	3,13	
		10	1,39	1,26	1,10	3,30	3,33	3,30	4,12	4,37	4,45	
		100	1,47	1,34	1,17	3,43	3,49	3,47	4,24	4,54	4,64	
		1000	1,48	1,35	1,18	3,44	3,51	3,49	4,25	4,56	4,66	
		10000	1,48	1,35	1,18	3,44	3,51	3,49	4,25	4,56	4,67	

Continuação

C35												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
5-9	15	CPI e II	0,1	0,25	0,19	0,15	0,80	0,70	0,63	1,19	1,06	0,98
			1	1,09	0,86	0,67	2,77	2,71	2,59	3,49	3,62	3,59
			10	1,63	1,35	1,06	3,62	3,78	3,74	4,20	4,72	4,90
			100	1,71	1,43	1,12	3,73	3,94	3,91	4,29	4,87	5,08
			1000	1,72	1,44	1,13	3,74	3,96	3,93	4,30	4,89	5,10
			10000	1,72	1,44	1,13	3,74	3,96	3,93	4,30	4,89	5,10
		CPIII e IV	0,1	0,25	0,19	0,15	0,79	0,69	0,63	1,15	1,04	0,97
			1	1,08	0,87	0,68	2,56	2,59	2,53	3,07	3,33	3,40
			10	1,60	1,37	1,09	3,18	3,52	3,59	3,45	4,15	4,47
			100	1,68	1,45	1,16	3,25	3,65	3,75	3,49	4,25	4,62
			1000	1,69	1,46	1,16	3,25	3,66	3,77	3,49	4,26	4,63
			10000	1,69	1,46	1,16	3,26	3,66	3,77	3,49	4,26	4,63
		CPV	0,1	0,25	0,19	0,15	0,81	0,71	0,64	1,21	1,07	0,99
			1	1,10	0,87	0,67	2,91	2,79	2,64	3,76	3,81	3,74
			10	1,66	1,35	1,06	3,91	3,97	3,87	4,70	5,12	5,20
			100	1,75	1,43	1,12	4,04	4,15	4,06	4,82	5,30	5,42
			1000	1,76	1,44	1,13	4,06	4,17	4,08	4,84	5,32	5,44
			10000	1,76	1,44	1,13	4,06	4,17	4,08	4,84	5,32	5,44
	25	CPI e II	0,1	0,26	0,22	0,18	0,81	0,72	0,67	1,19	1,08	1,01
			1	1,13	0,97	0,81	2,78	2,76	2,69	3,48	3,65	3,67
			10	1,69	1,51	1,27	3,61	3,83	3,87	4,17	4,73	4,96
			100	1,78	1,60	1,35	3,72	3,99	4,04	4,25	4,87	5,15
			1000	1,79	1,61	1,36	3,73	4,00	4,06	4,26	4,89	5,17
			10000	1,79	1,61	1,36	3,73	4,01	4,07	4,26	4,89	5,17
CPIII e IV		0,1	0,26	0,22	0,18	0,79	0,71	0,66	1,16	1,05	0,99	
		1	1,11	0,98	0,81	2,54	2,61	2,60	3,03	3,31	3,42	
		10	1,64	1,51	1,29	3,12	3,50	3,65	3,36	4,07	4,44	
		100	1,72	1,60	1,37	3,18	3,62	3,80	3,40	4,16	4,57	
		1000	1,73	1,61	1,37	3,19	3,64	3,81	3,41	4,17	4,58	
		10000	1,73	1,61	1,38	3,19	3,64	3,82	3,41	4,17	4,58	
CPV		0,1	0,26	0,22	0,18	0,82	0,72	0,67	1,21	1,09	1,02	
		1	1,15	0,98	0,81	2,93	2,86	2,76	3,77	3,86	3,84	
		10	1,73	1,52	1,28	3,92	4,05	4,03	4,70	5,16	5,32	
		100	1,82	1,61	1,36	4,05	4,23	4,23	4,81	5,34	5,53	
		1000	1,83	1,62	1,36	4,06	4,25	4,25	4,83	5,36	5,56	
		10000	1,83	1,62	1,36	4,07	4,25	4,25	4,83	5,36	5,56	
35	CPI e II	0,1	0,27	0,23	0,20	0,81	0,73	0,68	1,19	1,08	1,02	
		1	1,15	1,04	0,90	2,78	2,78	2,74	3,47	3,65	3,70	
		10	1,71	1,60	1,41	3,59	3,84	3,92	4,15	4,72	4,98	
		100	1,80	1,69	1,50	3,70	4,00	4,10	4,23	4,86	5,16	
		1000	1,81	1,70	1,50	3,71	4,01	4,11	4,23	4,87	5,17	
		10000	1,81	1,70	1,51	3,71	4,01	4,12	4,24	4,87	5,18	
	CPIII e IV	0,1	0,27	0,23	0,20	0,79	0,72	0,68	1,16	1,06	1,01	
		1	1,13	1,03	0,90	2,51	2,61	2,63	3,00	3,29	3,42	
		10	1,65	1,58	1,41	3,08	3,47	3,65	3,31	4,00	4,38	
		100	1,72	1,67	1,50	3,14	3,59	3,79	3,34	4,08	4,51	
		1000	1,73	1,68	1,51	3,14	3,60	3,81	3,35	4,09	4,52	
		10000	1,73	1,69	1,51	3,14	3,60	3,81	3,35	4,10	4,52	
	CPV	0,1	0,27	0,23	0,20	0,82	0,73	0,69	1,22	1,10	1,03	
		1	1,18	1,05	0,90	2,93	2,89	2,82	3,77	3,88	3,88	
		10	1,76	1,62	1,42	3,91	4,08	4,10	4,69	5,17	5,36	
		100	1,86	1,72	1,51	4,05	4,26	4,30	4,80	5,35	5,57	
		1000	1,87	1,73	1,52	4,06	4,27	4,32	4,81	5,36	5,60	
		10000	1,87	1,73	1,52	4,06	4,28	4,32	4,82	5,37	5,60	

Continuação

C35												
ABT	T [°C]	Cimento	GR	U=90%			U=70%			U=50%		
				Altura do elemento h [cm]								
				5	10	15	5	10	15	5	10	15
10-15	15	CPI e II	0,1	0,31	0,24	0,18	0,98	0,86	0,78	1,43	1,29	1,20
			1	1,31	1,05	0,82	3,17	3,18	3,07	3,86	4,13	4,16
			10	1,93	1,62	1,28	4,01	4,33	4,34	4,50	5,23	5,52
			100	2,02	1,71	1,35	4,12	4,49	4,53	4,70	5,40	5,72
			1000	2,03	1,72	1,36	4,13	4,51	4,55	4,74	5,42	5,74
			10000	2,03	1,72	1,36	4,13	4,51	4,55	4,75	5,42	5,74
		CPIII e IV	0,1	0,31	0,24	0,18	0,96	0,85	0,78	1,38	1,26	1,18
			1	1,29	1,06	0,83	2,87	3,00	2,97	3,30	3,73	3,88
			10	1,87	1,63	1,31	3,42	3,95	4,11	3,58	4,47	4,93
			100	1,96	1,73	1,39	3,48	4,07	4,27	3,86	4,59	5,08
			1000	1,97	1,74	1,40	3,49	4,08	4,29	3,95	4,61	5,09
			10000	1,97	1,74	1,40	3,49	4,09	4,29	3,96	4,61	5,10
		CPV	0,1	0,31	0,24	0,18	0,99	0,87	0,79	1,46	1,31	1,21
			1	1,33	1,06	0,82	3,37	3,30	3,15	4,22	4,40	4,37
			10	1,98	1,63	1,28	4,40	4,60	4,53	5,13	5,76	5,95
			100	2,08	1,73	1,36	4,53	4,79	4,74	5,32	5,96	6,18
			1000	2,09	1,74	1,37	4,55	4,81	4,77	5,36	5,98	6,21
			10000	2,09	1,74	1,37	4,55	4,81	4,77	5,36	5,98	6,21
	25	CPI e II	0,1	0,33	0,27	0,22	0,99	0,88	0,82	1,44	1,31	1,23
			1	1,36	1,18	0,99	3,18	3,23	3,19	3,84	4,15	4,25
			10	2,00	1,81	1,53	3,99	4,37	4,48	4,46	5,23	5,59
			100	2,09	1,91	1,62	4,10	4,53	4,67	4,64	5,39	5,78
			1000	2,10	1,92	1,63	4,11	4,55	4,69	4,69	5,41	5,80
			10000	2,10	1,92	1,63	4,11	4,55	4,69	4,69	5,41	5,80
		CPIII e IV	0,1	0,33	0,27	0,22	0,96	0,87	0,82	1,39	1,28	1,21
			1	1,33	1,18	0,99	2,84	3,01	3,04	3,25	3,69	3,89
			10	1,91	1,80	1,54	3,35	3,91	4,15	3,48	4,36	4,86
			100	2,00	1,90	1,64	3,40	4,02	4,30	3,81	4,48	5,00
			1000	2,00	1,91	1,65	3,41	4,03	4,32	3,92	4,51	5,02
			10000	2,01	1,91	1,65	3,41	4,04	4,32	3,93	4,51	5,02
CPV	0,1	0,33	0,27	0,22	1,00	0,89	0,83	1,47	1,33	1,25		
	1	1,39	1,20	0,99	3,39	3,38	3,30	4,23	4,45	4,49		
	10	2,06	1,84	1,55	4,40	4,68	4,72	5,12	5,80	6,07		
	100	2,17	1,94	1,64	4,54	4,87	4,93	5,29	5,99	6,31		
	1000	2,18	1,96	1,65	4,55	4,89	4,96	5,32	6,02	6,33		
	10000	2,18	1,96	1,65	4,56	4,89	4,96	5,33	6,02	6,33		
35	CPI e II	0,1	0,34	0,29	0,24	0,99	0,90	0,84	1,44	1,32	1,25	
		1	1,39	1,26	1,10	3,17	3,25	3,25	3,83	4,15	4,27	
		10	2,02	1,92	1,70	3,97	4,38	4,53	4,43	5,20	5,59	
		100	2,12	2,02	1,80	4,07	4,54	4,72	4,59	5,36	5,78	
		1000	2,13	2,04	1,81	4,08	4,55	4,74	4,63	5,38	5,80	
		10000	2,13	2,04	1,81	4,08	4,55	4,74	4,64	5,38	5,80	
	CPIII e IV	0,1	0,33	0,29	0,24	0,97	0,88	0,83	1,38	1,28	1,23	
		1	1,34	1,25	1,10	2,81	3,01	3,07	3,21	3,65	3,87	
		10	1,91	1,88	1,69	3,30	3,86	4,13	3,41	4,27	4,78	
		100	2,00	1,98	1,79	3,34	3,97	4,28	3,75	4,40	4,91	
		1000	2,01	1,99	1,80	3,35	3,98	4,29	3,86	4,43	4,93	
		10000	2,01	2,00	1,80	3,35	3,98	4,30	3,87	4,43	4,94	
	CPV	0,1	0,34	0,29	0,24	1,01	0,91	0,85	1,47	1,34	1,27	
		1	1,42	1,28	1,11	3,39	3,41	3,37	4,23	4,47	4,53	
		10	2,10	1,96	1,73	4,40	4,71	4,80	5,10	5,80	6,12	
		100	2,21	2,07	1,83	4,53	4,90	5,02	5,26	5,99	6,34	
		1000	2,22	2,08	1,84	4,55	4,92	5,04	5,29	6,02	6,37	
		10000	2,22	2,08	1,84	4,55	4,92	5,04	5,30	6,02	6,37	

Conclusão

APÊNDICE E.- Tabela com o coeficiente de fluência ϕ ($t=3000$, $t_0=0$).

ABT	T [°C]	Cimento	U=90%			U=70%			U=50%		
			Altura do elemento h [cm]								
			5	10	15	5	10	15	5	10	15
0-4	15	CPI e II	1,55	1,38	1,31	2,65	2,34	2,16	3,62	3,20	2,96
		CPIII e IV	1,49	1,29	1,21	2,59	2,25	2,06	3,54	3,10	2,84
		CPV	1,56	1,40	1,34	2,66	2,35	2,19	3,64	3,22	2,99
	25	CPI e II	1,57	1,41	1,35	2,67	2,37	2,20	3,65	3,23	2,99
		CPIII e IV	1,52	1,34	1,26	2,62	2,30	2,12	3,59	3,16	2,90
		CPV	1,58	1,43	1,37	2,67	2,37	2,21	3,65	3,25	3,01
	35	CPI e II	1,59	1,43	1,37	2,68	2,38	2,22	3,66	3,25	3,02
		CPIII e IV	1,54	1,37	1,30	2,65	2,33	2,15	3,61	3,19	2,94
		CPV	1,59	1,44	1,38	2,68	2,38	2,22	3,66	3,26	3,03
5-9	15	CPI e II	1,93	1,71	1,61	3,40	2,98	2,75	4,69	4,13	3,81
		CPIII e IV	1,84	1,59	1,48	3,31	2,87	2,61	4,59	4,00	3,65
		CPV	1,95	1,74	1,65	3,42	3,01	2,78	4,71	4,17	3,85
	25	CPI e II	1,96	1,75	1,66	3,43	3,02	2,79	4,72	4,17	3,85
		CPIII e IV	1,89	1,65	1,55	3,36	2,93	2,69	4,65	4,08	3,74
		CPV	1,97	1,77	1,69	3,43	3,03	2,81	4,74	4,19	3,88
	35	CPI e II	1,98	1,77	1,69	3,44	3,04	2,82	4,74	4,20	3,88
		CPIII e IV	1,92	1,69	1,59	3,39	2,97	2,73	4,68	4,12	3,79
		CPV	1,98	1,79	1,71	3,44	3,05	2,83	4,75	4,21	3,90
10-15	15	CPI e II	2,31	2,03	1,91	4,15	3,62	3,33	5,76	5,06	4,65
		CPIII e IV	2,20	1,88	1,74	4,04	3,48	3,16	5,63	4,90	4,46
		CPV	2,34	2,07	1,97	4,17	3,66	3,38	5,79	5,11	4,71
	25	CPI e II	2,35	2,08	1,97	4,18	3,67	3,39	5,80	5,11	4,72
		CPIII e IV	2,26	1,96	1,83	4,10	3,56	3,26	5,70	4,99	4,57
		CPV	2,36	2,11	2,01	4,19	3,69	3,42	5,82	5,14	4,75
	35	CPI e II	2,37	2,11	2,01	4,20	3,69	3,42	5,82	5,14	4,75
		CPIII e IV	2,30	2,01	1,89	4,13	3,61	3,31	5,75	5,04	4,63
		CPV	2,38	2,13	2,04	4,20	3,71	3,44	5,84	5,16	4,78

APÊNDICE F.- Coeficiente de envelhecimento de Z. P. BAZANT.

Neste apêndice será demonstrado o procedimento realizado por Z. P. BAZANT (1972) para a construção da tabela de coeficiente de envelhecimento χ abaixo.

Tabela F1- Valores do coeficiente de envelhecimento χ . Segundo Z. P. BAZANT

TABLE I — AGING COEFFICIENT χ FOR TWO DIFFERENT CREEP LAWS, WITH AND WITHOUT CONSIDERATION OF VARIATION OF ELASTIC MODULUS (SYMBOLS DEFINED IN APPENDIX)

Creep law	$t-t_0$ days	$\phi(\infty, 7)$	Variable E, Eq. (9)				Constant E				$\phi(t, t_0)$ $\phi_u(t_0)$
			t_0 , days				t_0 , days				
			10^1	10^2	10^3	10^4	10^1	10^2	10^3	10^4	
Eq. (7) and (9)	10^1	0.5	0.525	0.804	0.811	0.809	0.798	0.811	0.811	0.809	0.273
		1.5	0.720	0.826	0.825	0.820	0.820	0.829	0.825	0.820	
		2.5	0.774	0.842	0.837	0.830	0.839	0.844	0.837	0.830	
		3.5	0.806	0.856	0.848	0.839	0.855	0.857	0.848	0.839	
	10^2	0.5	0.505	0.888	0.916	0.915	0.848	0.905	0.916	0.915	0.608
		1.5	0.739	0.919	0.932	0.928	0.878	0.926	0.932	0.928	
		2.5	0.804	0.935	0.943	0.938	0.899	0.939	0.943	0.938	
		3.5	0.839	0.946	0.951	0.946	0.914	0.949	0.951	0.946	
	10^3	0.5	0.511	0.912	0.973	0.981	0.846	0.937	0.974	0.981	0.857
		1.5	0.732	0.943	0.981	0.985	0.878	0.953	0.981	0.985	
		2.5	0.795	0.956	0.985	0.988	0.899	0.963	0.985	0.988	
		3.5	0.830	0.964	0.987	0.990	0.914	0.969	0.987	0.990	
	10^4	0.5	0.501	0.899	0.976	0.994	0.828	0.927	0.977	0.994	0.954
		1.5	0.717	0.934	0.983	0.995	0.863	0.945	0.983	0.995	
		2.5	0.781	0.949	0.986	0.996	0.887	0.956	0.987	0.996	
		3.5	0.818	0.958	0.989	0.997	0.903	0.963	0.989	0.997	
Eq. (8) and (9)	10^1	0.5	0.522	0.815	0.822	0.821	0.809	0.823	0.822	0.821	0.269
		1.5	0.727	0.838	0.836	0.832	0.831	0.840	0.836	0.832	
		2.5	0.783	0.854	0.849	0.842	0.850	0.855	0.849	0.842	
		3.5	0.815	0.867	0.860	0.851	0.865	0.868	0.860	0.851	
	10^2	0.5	0.493	0.901	0.929	0.929	0.864	0.919	0.930	0.929	0.518
		1.5	0.742	0.928	0.941	0.939	0.889	0.935	0.941	0.939	
		2.5	0.807	0.941	0.950	0.947	0.906	0.945	0.950	0.947	
		3.5	0.842	0.950	0.956	0.952	0.919	0.953	0.956	0.952	
	10^3	0.5	0.461	0.887	0.956	0.965	0.826	0.917	0.957	0.965	0.775
		1.5	0.702	0.924	0.966	0.972	0.859	0.935	0.966	0.972	
		2.5	0.770	0.940	0.972	0.976	0.882	0.947	0.973	0.976	
		3.5	0.808	0.950	0.977	0.980	0.898	0.955	0.977	0.980	
	10^4	0.5	0.434	0.838	0.940	0.972	0.767	0.873	0.942	0.977	1.034
		1.5	0.657	0.887	0.955	0.979	0.811	0.901	0.956	0.979	
		2.5	0.727	0.909	0.964	0.983	0.841	0.919	0.964	0.983	
		3.5	0.768	0.924	0.970	0.985	0.863	0.932	0.970	0.985	
$\phi_u(t_0)/\phi_u(7)$			0.960	0.731	0.558	0.425	0.960	0.731	0.558	0.425	
$E(t_0)/E(28)$			0.895	1.060	1.083	1.089	1.000	1.000	1.000	1.000	

A lei de fluência pode ser escrita de duas formas equivalentes, adotando a nomenclatura do Z.P. BAZANT:

$$\varepsilon(t) - \varepsilon^0(t) = \int_0^t J_c(t, t') d\sigma(t') \quad \text{Eq - F1}$$

$$\sigma(t) = \int_0^t E_R(t, t') [d\varepsilon(t') - d\varepsilon^0(t')] \quad \text{Eq - F2}$$

Onde:

$\varepsilon(t)$ e $\sigma(t)$ = são a deformação e a tensão no instante t .

$\varepsilon^o(t)$ = é a deformação independente da tensão: retração e dilatação térmica.

$E_R(t, t_0)$ = é a função de relaxação definida por uma tensão no tempo t provocada por uma deformação unitária aplicada em t_0 .

$J_c(t, t')$ = Função de fluência definida por uma deformação no instante t provocada por uma tensão unitária aplicada no instante t'

A relação entre J_c e E_R pode ser obtida, por exemplo, considerando a história da deformação como uma função degrau unitária com $\varepsilon = 1$ para $t \geq t_0$ e $\varepsilon = 0$ para $t < t_0$. Dessa forma obtêm-se a solução da integral da Equação F2:

$$\sigma(t) = E_R(t, t') \quad \text{Eq - F3}$$

Substituindo na Equação F1, considerando $\varepsilon^o(t)=0$, tem-se:

$$J_c(t, t_0)E(t_0) + \int_{t_0}^t J_c(t, t') \frac{\partial E_R(t', t_0)}{\partial t'} dt' = 1 \quad \text{Eq - F4}$$

Onde

$$E(t_0) = E(28) \sqrt{\frac{t_0}{4 + 0,85t_0}} = \text{módulo de elasticidade no instante } t_0.$$

$$E(28) = 4734 \sqrt{f_c} = \text{módulo de elasticidade aos 28 dias em MPa.}$$

f_c = resistência característica à compressão do concreto.

$$\text{Para a determinação de } \chi, \text{ definido como: } \chi(t, t_0) = \left[1 - \frac{E_R(t, t_0)}{E(t_0)} \right]^{-1} - \frac{1}{\phi(t, t_0)}$$

Onde:

$$\phi(t, t_0) = \text{coeficiente de fluência} = E(t')J_c(t, t') - 1.$$

$$E(t') = E(28) \sqrt{\frac{t'}{4 + 0,85t'}} = \text{módulo de elasticidade no instante } t'.$$

, é preciso conhecer a evolução da função de relaxação E_R no tempo e o coeficiente de fluência ϕ .

Para conhecer a evolução de E_R Z. P. BAZANT subdivide o tempo t em $t_1, t_2, \dots, t_n$ com incrementos $\Delta t_r = t_r - t_{r-1}$ ($r=2, 3, \dots, n$), por conveniência $t_0 = t_1$, expressando o fato que o primeiro incremento de carga é instantâneo $t_1=0$. Aproxima a integral da Equação F4 a uma soma finita. Define o incremento da função relaxação como $\Delta E_{Rr} = E_R(t_r, t_0) - E_R(t_{r-1}, t_0)$. Assim, obtêm-se:

$$\Delta E_{Rr} = -2(J_{c_{r,r}} + J_{c_{r,r-1}})^{-1} \cdot \sum_{s=1}^{r-1} \frac{1}{2} \Delta E_{Rs} (J_{c_{r,s}} + J_{c_{r,s-1}} - J_{c_{r-1,s}} - J_{c_{r-1,s-1}}) \quad \text{Eq - F5}$$

Onde:

(r=2,3,4,...)

$$J_{c_r,s} = J_c(t_r, t_s)$$

E o valor inicial é $E_{R_1} = E(t_0)$

O valor de ϕ é normativo e definido de duas formas, conforme a primeira coluna da Tabela F1, como segue:

Tabela F2 - Valores do coeficiente de fluência ϕ .

Eq (7)	$\phi(t, t') = \frac{\phi_u(t') \cdot (t - t')^{0,6}}{10 + (t - t')^{0,6}}$
Eq (8)	$\phi(t, t') = \phi_u(t') \cdot 0,113 \ln(1 + t - t')$
Onde: $\phi_u(t') = \phi(\infty, 7) \cdot 1,25 t'^{-0,118}$	
Obs: o Eq (9) da Tabela F1 refere-se a formulação do módulo de elasticidade.	

Definido todo o procedimento apresenta-se nas tabelas a seguir a determinação do valor de $\chi(t, t_0)$ para: $t_0=10$ dias; $t = 20$ dias; lei de fluência Eq (8); módulo de elasticidade variável; e $\phi(\infty, 7)=3,5$.

Tabela F3 –Entrada de dados

ENTRADA DE DADOS	
fc [MPa]	25
E(28) [MPa]	23670
E(to)/E(28)	0,89
to [dias]	10
t [dias]	20
$\phi(\infty, 7)$	3,5
$\phi(t, to)/\phi_u(to)$	0,27

Tabela F4 - Determinação dos valores do coeficiente de fluência.

r(2,3,...,11)			Valores de $\phi(t,t')$											
t	Δt	r	E(t)	$\phi(20,t)$	$\phi(19,t)$	$\phi(18,t)$	$\phi(17,t)$	$\phi(16,t)$	$\phi(15,t)$	$\phi(14,t)$	$\phi(13,t)$	$\phi(12,t)$	$\phi(11,t)$	$\phi(10,t)$
t1	10	10	21171	0,90341	0,86751	0,82781	0,78344	0,73313	0,67505	0,60636	0,52229	0,41391	0,26115	0
t2	11	1	21486	0,8578	0,81855	0,77467	0,72493	0,6675	0,59958	0,51645	0,40928	0,25822		
t3	12	1	21759	0,81019	0,76676	0,71752	0,66068	0,59345	0,51117	0,4051	0,25559			
t4	13	1	21999	0,75955	0,71078	0,65447	0,58788	0,50637	0,40129	0,25318				
t5	14	1	22211	0,70459	0,64877	0,58276	0,50196	0,39779	0,25098					
t6	15	1	22399	0,64351	0,57803	0,49789	0,39457	0,24894						
t7	16	1	22568	0,57365	0,49411	0,39157	0,24706							
t8	17	1	22721	0,49059	0,38878	0,2453								
t9	18	1	22859	0,38617	0,24365									
t10	19	1	22985	0,2421										
t11	20	1	23100											

Tabela F5 - Determinação dos valores da função de fluência.

Valores de $J_c(t,t')$											
t	$J_c(20,t)$	$J_c(19,t)$	$J_c(18,t)$	$J_c(17,t)$	$J_c(16,t)$	$J_c(15,t)$	$J_c(14,t)$	$J_c(13,t)$	$J_c(12,t)$	$J_c(11,t)$	$J_c(10,t)$
10	9,0E-05	8,8E-05	8,6E-05	8,4E-05	8,2E-05	7,9E-05	7,6E-05	7,2E-05	6,7E-05	6,0E-05	4,7E-05
11	8,6E-05	8,5E-05	8,3E-05	8,0E-05	7,8E-05	7,4E-05	7,1E-05	6,6E-05	5,9E-05	4,7E-05	
12	8,3E-05	8,1E-05	7,9E-05	7,6E-05	7,3E-05	6,9E-05	6,5E-05	5,8E-05	4,6E-05		
13	8,0E-05	7,8E-05	7,5E-05	7,2E-05	6,8E-05	6,4E-05	5,7E-05	4,5E-05			
14	7,7E-05	7,4E-05	7,1E-05	6,8E-05	6,3E-05	5,6E-05	4,5E-05				
15	7,3E-05	7,0E-05	6,7E-05	6,2E-05	5,6E-05	4,5E-05					
16	7,0E-05	6,6E-05	6,2E-05	5,5E-05	4,4E-05						
17	6,6E-05	6,1E-05	5,5E-05	4,4E-05							
18	6,1E-05	5,4E-05	4,4E-05								
19	5,4E-05	4,4E-05									
20	4,3E-05										
$\phi_u(t)=3,33$											

Tabela F6 - Determinação dos valores da função de relaxação

Valores da função de relaxação										
$\Delta ER1$	$\Delta ER2$	$\Delta ER3$	$\Delta ER4$	$\Delta ER5$	$\Delta ER6$	$\Delta ER7$	$\Delta ER8$	$\Delta ER9$	$\Delta ER10$	$\Delta ER11$
21171	-4922	-2017	-1154	-774	-568	-443	-360	-301	-258	-225
ER(10,10)	ER(11,10)	ER(12,10)	ER4(13,10)	ER5(14,10)	ER6(15,10)	ER7(16,10)	ER8(17,10)	ER9(18,10)	ER10(19,10)	ER11(20,10)
21171	16249	14232	13077	12304	11735	11292	10933	10632	10374	10149

Tabela F7 - Determinação do coeficiente de envelhecimento.

Valores do coeficiente de envelhecimento										
$\chi(10,10)$	$\chi(11,10)$	$\chi(12,10)$	$\chi(13,10)$	$\chi(14,10)$	$\chi(15,10)$	$\chi(16,10)$	$\chi(17,10)$	$\chi(18,10)$	$\chi(19,10)$	$\chi(20,10)$
----	0,472	0,635	0,701	0,738	0,762	0,779	0,791	0,801	0,808	0,814

O valor 0,814 de χ encontrado para a idade de $t_0=10$ dias e $t=20$ dias é praticamente o mesmo constante da Tabela F1 (0,815).

Para os valores de $\phi(\infty,7)$ iguais a 2,5; 1,5 e 0,5 temos respectivamente os valores de $\chi(20,10)$ iguais a 0,782; 0,725 e 0,52.