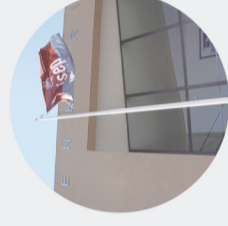




Avaliação da Reparabilidade de Estruturas de Betão Armado após Incêndio

NUNO MIGUEL LEITE DA SILVA SA

novembro de 2017



Avaliação da Reparabilidade de Estruturas de Betão Armado após Incêndio

Avaliação da Reparabilidade de Estruturas de Betão Armado após Incêndio

NUNO MIGUEL LEITE DA SILVA SA
Outubro de 2017



AVALIAÇÃO DA REPARABILIDADE DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO APÓS INCÊNDIO

NUNO MIGUEL LEITE DA SILVA SÁ

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Eng. Duarte Barroso Lopes

OUTUBRO DE 2017

ÍNDICE GERAL

Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
Glossário.....	xx
1 Introdução.....	1
2 Ação do Fogo.....	3
3 Avaliação da Reparabilidade de Estruturas de Betão após Incêndio.....	42
4 Caso de Estudo.....	79
5 Considerações finais.....	100
Bibliografia.....	102
Anexos	

RESUMO

As estruturas em betão armado apresentam um bom comportamento durante e após incêndio podendo na generalidade ser reparadas. Para avaliar a reparabilidade destas, é apresentada uma metodologia que fornece as ferramentas para determinar se é possível e/ou vantajoso proceder à sua reparação.

São abordados os métodos de modelação de incêndio e como avaliar o seu impacto em elementos de betão armado segundo a EN 1991-1-2 e EN 1992-1-2 respetivamente.

É também apresentada a metodologia de avaliação, tipos de dano causados pelo incêndio, propriedades residuais dos materiais, um sistema de classificação de danos e uma abordagem geral aos métodos de reparação.

Uma estimativa para a severidade de um incêndio é apresentada com recurso a uma curva paramétrica além de um estudo da evolução da resistência residual de um pilar, viga e laje sujeitas á curva incêndio padrão. Neste estudo são também comparados os fatores de redução para as características mecânicas apresentados pela EN 1992-1-2 e os obtidos por via experimental. É também apresentado como determinar a resistência residual de uma viga com a profundidade de isotérmica já conhecida.

Conclui-se que a consideração das propriedades do local onde ocorreu o incêndio é importante para uma boa estimativa da severidade de um incêndio e que a temperatura máxima atingida pela armadura é o fator determinante para a resistência residual de vigas e lajes.

Palavras chave: incêndio; betão; resistência residual, avaliação, reparabilidade

ABSTRACT

Concrete structures have shown good performance both during and after a fire, with repairs usually possible. To evaluate their reparability, a methodology is presented which gives the tools to determine if it's possible and/or advantageous to proceed with repairs.

Methods to model a fire and evaluate its impact in concrete structures according to EN 1991-1-2 and EN 1992-1-2 respectively are addressed.

The methodology of evaluation, types of damage caused by fire, residual properties of materials, a damage classification system and a general approach to repair methods are also presented.

An estimate for the severity of a fire is presented using a parametric curve in addition to the study of the evolution of the residual resistance of a beam, pillar and slab subject to the standard fire curve. In this study the reduction factors for the mechanical characteristics presented by EN 1992-1-2 and those obtained through testing are also compared. It is also presented how to determine the residual strength of a beam with a known isothermal depth.

It is concluded that the consideration of the local properties where the fire occurred is important for a good estimate of the severity of a fire and that the maximum temperature reached by the reinforcement is the determining factor for the residual resistance of beams and slabs.

Keywords: fire; concrete, residual strength, assessment, reparability

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Eng. Duarte Barroso Lopes pela ajuda e orientação dadas.

Ao ISEP pelo conhecimento transmitido.

Ao Eng. João Paulo Rodrigues, à Costa Almeida Demolições e às Companhias de Bombeiros Sapadores do Porto e Vila Nova de Gaia pela disponibilidade para me receberem.

Aos engenheiros Nuno Lopes, Cristina Calmeiro dos Santos, Alzira Ramalho e João Gonçalves pela disponibilidade para esclarecimento de dúvidas.

À minha família, namorada e amigos pelo apoio, paciência e compreensão demonstrados.

Ao meu colega Mário Leite sem o qual a realização desta dissertação teria sido muito mais difícil.

Ao meu avô por me dar um ideal a atingir.

ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução.....	1
2	Ação do Fogo.....	3
2.1	Aspetos Gerais.....	3
2.1.1	Incêndio.....	4
2.2	Transmissão do Calor.....	5
2.2.1	Condução.....	6
2.2.2	Convecção.....	7
2.2.3	Radiação.....	7
2.3	Caracterização das Ações Térmicas.....	8
2.3.1	Curvas nominais.....	8
2.3.2	Modelos de incêndio natural.....	10
2.3.3	Expressões analíticas das curvas paramétricas.....	13
2.3.4	Densidades de carga de incêndio.....	17
2.4	Modelos de Cálculo Simplificados.....	24
2.4.1	Método da isotérmica 500°C.....	25
2.4.2	Método das zonas.....	28
2.5	Perfis de Temperatura.....	31
2.6	Propriedades Termomecânicas do Betão e Aço.....	39
2.6.1	Betão.....	39
2.6.2	Aço.....	40

3	Avaliação da Reparabilidade de Estruturas de Betão após Incêndio.....	42
3.1	Danos Causados por Incêndios	46
3.1.1	Coloração do betão.....	46
3.1.2	Degradação de outros materiais.....	47
3.1.3	Fissuração e <i>spalling</i>	50
3.1.4	Deformação de elementos	55
3.1.5	Deformação de armaduras	55
3.1.6	Ataque por cloretos	57
3.2	Propriedades Residuais dos Materiais	57
3.2.1	Betão.....	57
3.2.2	Aço	61
3.3	Ensaio para Betão Armado após Incêndio.....	64
3.3.1	“Rebound test”	64
3.3.2	Ultra-som	65
3.3.3	Análises petrográficas.....	65
3.3.4	Análises metalográficas	66
3.3.5	Termoluminescência.....	67
3.3.6	Transmissão de pulsos após furação	67
3.3.7	Ensaio de dureza	68
3.3.8	Ensaio de carotes e amostras de armadura	69
3.4	Classificação e Apresentação dos Danos	70
3.5	Métodos de Reparação	74
3.5.1	Limpeza de superfícies.....	75
3.5.2	Remoção de betão.....	75
3.5.3	Reparação de armaduras.....	76
3.5.4	Reparação do betão.....	77
3.5.5	Aplicação de reforços	78

3.5.6	Reparação após ataque químico por cloretos.....	78
4	Caso de Estudo.....	79
4.1	Estimativa da Severidade de um Incêndio.....	79
4.1.1	Estimativa com recurso a curvas paramétricas.....	81
4.2	Estudo da Evolução da Resistência Residual.....	84
4.2.1	Pilar.....	85
4.2.2	Viga.....	89
4.2.3	Laje.....	93
4.2.4	Resistência residual de uma viga sabendo a profundidade da isotérmica.....	97
4.3	Discussão de Resultados.....	98
5	Considerações finais.....	100
5.1	Conclusão.....	100
5.2	Desenvolvimentos Futuros.....	101
	Bibliografia.....	102
	Anexos.....	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tetraedro do fogo (Lopes, 2012)	4
Figura 2.2 – Exemplo de curva de incêndio (Lopes, 2004)	4
Figura 2.3 – Comparação curvas nominais (Gavina, 2014)	9
Figura 2.4 – Modelos de incêndio natural (Gavina, 2014)	11
Figura 2.5 – Métodos de cálculo para determinação da resistência ao fogo (EN 1992-1-2)	24
Figura 2.6 – Secção transversal reduzida de vigas ou pilares em betão armado (EN 1992-1-2)	27
Figura 2.7 – Redução das resistências e da secção transversal para secções expostas ao fogo (EN 1992-1-2)	29
Figura 2.8 – Divisão em zonas de uma parede exposta ao fogo nas duas faces (EN 1992-1-2).....	30
Figura 2.9 – Exemplo de perfil de temperatura (°C) para uma viga $h \times b = 800 \times 500$ (mm) exposta a um incêndio de severidade equivalente à curva ISO 834 com $t = 120$ min (EN 1992-1-2).....	32
Figura 2.10 – Exemplo de um perfil de temperatura de um quarto de secção de um pilar gerado por programa de análise por elementos finitos (fib bulletin nº38, 2007)	32
Figura 2.11 – Condutividade térmica do betão em função do aumento da temperatura considerada (Wickström, 1986).....	33
Figura 2.12 – Curva e eixo horizontal superiores: relação entre nw e tw ; Curva e eixo horizontal inferiores: relação entre nx e ux (Wickström, 1986).....	34
Figura 2.13 – Relação tempo/profundidade para fluxo uniaxial e isotérmica 300°C	37
Figura 2.14 – Relação tempo/profundidade para fluxo uniaxial e isotérmica 500°C	37
Figura 2.15 – Relação tempo/profundidade para fluxo biaxial e isotérmica 300°C	38
Figura 2.16 – Relação tempo/profundidade para fluxo biaxial e isotérmica 500°C	38

Figura 2.17 – Coeficiente $k_c(\theta)$ de redução do valor característico da resistência do betão (f_{ck}) (EN 1992-1-2)	39
Figura 2.18 – Coeficiente $k_s(\theta)$ de redução do valor característico da resistência (f_{yk}) de armaduras tracionadas ou comprimidas (Classe N) (EN 1992-1-2).....	40
Figura 2.19 – Coeficiente de redução do valor característico da resistência (βf_{pk}) do aço de pré-esforço (EN 1992-1-2)	41
Figura 3.1 – Fluxograma da reparação duma estrutura sujeita a incêndio (CIB W14 report, 1989)	43
Figura 3.2 – Evolução da coloração em betão corrente (OC) e de alta resistência (HPC), argamassa (mortar) e pasta de cimento (cement paste) aquecidas a temperaturas entre os 100°C e 1000°C. (Hager, 2013)	46
Figura 3.3 – Exemplo de fusão e formação de gotas de perfis de alumínio, indicadores de temperaturas acima de 650°C (Concrete Society, 2008)	48
Figura 3.4 – Exemplo de fissuração na face inferior duma laje devido a expansões térmicas. (Concrete Society, 2008)	50
Figura 3.5 – <i>Spalling</i> explosivo devido a tensões térmicas e pressão nos poros (Khoury, 2008)	52
Figura 3.6 – Exemplo de <i>spalling</i> explosivo (Concrete Society, 2008)	53
Figura 3.7 – Exemplo de <i>spalling</i> localizado (Concrete Society, 2008)	54
Figura 3.8 – Exemplo de <i>spalling</i> na face inferior de uma laje devido à deterioração por exposição a altas temperaturas de espaçadores em plástico (Concrete Society, 2008).	54
Figura 3.9 – Exemplo de deformação de armaduras (Concrete Society, 2008)	55
Figura 3.10 – Encurvadura de armaduras expostas (Kodur et al., 2013)	56
Figura 3.11 – Evolução da resistência residual à compressão de betões normais e de alta resistência por obtidos por vários autores (Kodur et al. 2013)	60
Figura 3.12 – Resistência residual à compressão em função da temperatura proposta pela Concrete Society (2008)	60
Figura 3.13 – Variação da resistência residual do aço em função da máxima temperatura atingida proposta por Cabrita Neves et al. (1996)	62
Figura 3.14 – Efeito do endurecimento na resistência do aço (Kodur et al., 2013)	62
Figura 3.15 – Curvas tensão-extensão após aquecimento até 700°C e arrefecimento até temperatura ambiente (Fellicetti e Gambarova, 2011).....	63

Figura 3.16 – Resistência residual recomendada para aço utilizado em pré-esforço (Concrete Society 2008)	63
Figura 3.17 – Martelo de Schimidt (Rodrigues, 2012).....	64
Figura 3.18 – Equipamento para ensaio de ultrassons “PUNDIT” (Rodrigues, 2012)	65
Figura 3.19 – Exemplo de uma análise petrográfica demonstrando uma banda de descoloração de 30 mm (Rodrigues, 2012).....	66
Figura 3.20 – Comparação da microestrutura de uma amostra de aço aquecida a 700°C (esquerda) e a 800°C (direita). (Azhari, 2017).....	66
Figura 3.21 – Princípio de funcionamento e exemplo do equipamento para a transmissão de pulsos após furação (Felicetti, 2014)	67
Figura 3.22 – Exemplo do equipamento de recolha do pó de furação, sua utilização e alguns dos ensaios possíveis (alteração do pH e colorimetria) (Felicetti, 2014)	68
Figura 3.23 – Exemplo de maquina de extração de carotes e carote com caneta para referência de escala (Rodrigues, 2012)	69
Figura 3.24 – Maquina de ensaio à tração (Rodrigues, 2012).....	70
Figura 3.25 – Secção de uma laje de betão armado com indicação de índices de referência para classificação (CIP W14 report, 1990)	73
Figura 4.1 – Planta do local em estudo	80
Figura 4.2 – Corte do local em estudo	80
Figura 4.3 – Comparação das curvas e temperaturas obtidas para t=20 min	84
Figura 4.4 – Secção transversal do pilar em estudo.....	85
Figura 4.5 – Comparação da relação Nrd, res /tempo para o pilar em estudo.....	88
Figura 4.6 – Secção transversal da viga em estudo.....	89
Figura 4.7 – Comparação da relação Mrd, res /tempo para a viga em estudo	92
Figura 4.8 – Corte da laje em estudo	93
Figura 4.9 – Comparação da relação Mrd, res /tempo para a laje em estudo	96
Figura 4.10 – Corte transversal da viga	97

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores de t_{lim} (EN 1991-1-2).....	16
Tabela 2.2 – Velocidades de propagação do incêndio para diferentes ocupações dos compartimentos (EN 1991-1-2)	16
Tabela 2.3 – Fatores δq_1 e δq_2 (EN 1991-1-2)	18
Tabela 2.4 – Fatores δn_i (EN 1991-1-2)	19
Tabela 2.5 – Poder calorífico efetivo $[MJ/m^2]$ de vários materiais (EN 1991-1-2)	21
Tabela 2.6 – Valores característicos da densidade de carga de incêndio por unidade de área de pavimento de acordo com a ocupação (EN 1991-1-2).....	23
Tabela 2.7 – Largura mínima da secção transversal em função da resistência ao fogo (EN 1992-1-2)	26
Tabela 2.8 – Largura mínima da secção transversal em função da densidade de carga de incêndio (EN 1992-1-2).....	26
Tabela 3.1 – Passos a tomar na reparação duma estrutura sujeita a incêndio (Concrete Society, 2008) .	44
Tabela 3.2 – Efeitos da temperatura em diferentes materiais (CIB W14 report, 1989)	47
Tabela 3.3 – Taxas de carbonização β_0 e β_n para vários tipos de madeira (EN 1995-1-2, 2004).....	49
Tabela 3.4 – Alterações mineralógicas do betão causadas por aquecimento (Santos, 2012 e Concrete Society, 2008).....	58
Tabela 3.5 – Critérios de recuperação/demolição de estruturas de betão após incêndio em função da classe de danos (CIP W14, 1990)	71
Tabela 3.6 – Registo da classificação de danos feita em relação ao exemplo da figura 3.25 (CIP W14 report, 1990)	74
Tabela 4.1 – Propriedades térmicas dos materiais	81

GLOSSÁRIO

A	área do compartimento de incêndio
A_f	área do pavimento do compartimento de incêndio
A_h	área total das aberturas horizontais no teto do compartimento
$A_{h,v}$	área total das aberturas na superfície envolvente
A_t	área total da superfície envolvente (paredes, teto e pavimento incluindo aberturas)
A_v	área total das aberturas verticais em todas as paredes
H_u	poder calorífico efetivo, incluindo o teor de água
$M_{k,i}$	quantidade de material combustível i
O	fator de abertura do compartimento de incêndio ($O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$)
O_{lim}	fator de abertura reduzido no caso de incêndio controlado pela carga
Q	taxa de liberação de calor do incêndio
$Q_{fi,k}$	valor característico da carga de incêndio
b	absortividade térmica da superfície envolvente total ($b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$)
c	calor específico
$k(\theta)$	fator de redução de uma propriedade de resistência ou de deformação dependente da temperatura do material θ
h_{eq}	média ponderada dos valores da altura das aberturas em todas as paredes
m	fator de combustão
q_f	carga de incêndio por unidade de área do pavimento
$q_{f,d}$	valor de cálculo da densidade de carga de incêndio por unidade de área do pavimento
$q_{f,k}$	valor característico da densidade de carga de incêndio por unidade de área do pavimento
q_t	carga de incêndio por unidade de área da envolvente
$q_{t,d}$	valor de cálculo da densidade de carga de incêndio por unidade de área do pavimento
$q_{t,k}$	valor característico da densidade de carga de incêndio por unidade de área do pavimento

s_i	espessura da camada i
s_{lim}	espessura limite
t	tempo
t_{lim}	instante de tempo em que ocorre a temperatura máxima dos gases no caso de incêndio controlado pela carga
t_{max}	instante de tempo em que ocorre a temperatura máxima dos gases
u	teor de água
Γ	fator de conversão do tempo, função do fator de abertura O e da absorvidade térmica b
Γ_{lim}	fator de conversão do tempo, função do fator de abertura O_{lim} e da absorvidade térmica b
θ	temperatura
θ_g	temperatura dos gases no compartimento de incêndio, ou na proximidade do elemento exposto ao fogo
Ψ_i	fator para carga de incêndio protegida
α_c	coeficiente de transferência de calor por convecção
δ_{ni}	fator q tem em conta a existência de uma medida de combate a incêndios específica i
δ_{q1}	fator que tem em conta o risco de ativação de incêndio devido às dimensões do compartimento
δ_{q2}	fator que tem em conta o risco de ativação de incêndio devido ao tipo de ocupação
ε_m	emissividade da superfície do elemento
ε_f	emissividade das chamas, do fogo
λ	condutividade térmica
ρ	massa volúmica
σ	constante de Stefan-Boltzmann (= $5.6703 \times 10^{-8} [W/m^2K^4]$)

1 INTRODUÇÃO

O betão armado afirma-se como um material de construção resistente ao fogo. A sua fraca condutividade térmica, incombustibilidade e o facto de não produzir fumo ou emitir vapores tóxicos são fatores que contribuem para este facto. No entanto, quando sujeito a altas temperaturas as suas propriedades sofrem degradação podendo levar em casos extremos ao colapso parcial ou total das estruturas.

Tovey e Crook (1986) após recolha de informação de mais de cem estruturas danificadas por incêndio constataram que, na generalidade, estas apresentam um bom comportamento durante e após incêndio, tendo sido possível reparar uma grande parte delas. É então possível afirmar que a reparação ou reabilitação de estruturas sujeitas a incêndio serão alternativas à sua demolição e reconstrução. Esta alternativa apresenta grandes vantagens como a utilização mais racional de recursos, menores custos, e uma grande redução do tempo em que a estrutura não estará apta para utilização.

Para determinar a viabilidade desta alternativa é necessário proceder á avaliação da resistência residual da estrutura, identificando danos e alterações nos materiais causados pelo incêndio. Esta avaliação é um processo complexo e multidisciplinar, sendo necessário considerar números fatores como a natureza e tipo de incêndio, materiais utilizados, a resposta dada pelos bombeiros ou até mesmo o estado inicial da estrutura em estudo. Custo, tempo despendido e o impacto na estrutura destas avaliações também têm que ser levadas em conta. É importante referir que apesar do estado estrutura de betão apresentar um peso considerável no processo de tomada de decisão quanto a uma possível reparação é necessário considerar outros fatores como outros danos causados pelo incêndio (em equipamentos ou instalações elétricas por exemplo), fatores estéticos ou potenciais mudanças do tipo de utilização. Custos associados com a limpeza de detritos, fuligens e danos causados por fumos também têm de ser considerados.

Tendo isto em conta, o objetivo dessa dissertação passará pela apresentação de uma metodologia para avaliar o impacto de um incêndio numa estrutura de betão armado, fornecendo ferramentas para determinar se é possível e, eventualmente vantajoso, proceder à sua reparação ou reabilitação. O principal foco serão os incêndios ocorridos em edifícios em betão armado sendo, no entanto, possível aplicar os seus princípios a outro tipo de estruturas.

No segundo capítulo desta dissertação, é abordado como modelar e avaliar o impacto de um incêndio numa estrutura de betão usando para isso as normas europeias relevantes.

No terceiro capítulo está exposto como determinar a capacidade resistente residual dos elementos da estrutura, apresentado um método de classificação dos danos tal como os procedimentos a tomar em caso de reparação.

No quarto capítulo é apresentado um caso de estudo onde se fará a estimativa da severidade de um incêndio utilizando métodos apresentados no segundo capítulo, bem como uma comparação das resistências residuais obtidas entre os valores sugeridos no segundo capítulo e os obtidos por via experimental no terceiro capítulo.

2 AÇÃO DO FOGO

Antes da abordagem ao problema da avaliação da reparabilidade, é necessário um entendimento dos efeitos de um incêndio numa estrutura de betão. Na perspetiva da engenharia de segurança contra incêndios a abordagem a este problema passará essencialmente por quatro passos:

1. Modelação do incêndio, de modo a determinar o fluxo de calor libertado e as temperaturas atingidas nos compartimentos;
2. Modelação da transferência de calor entre a atmosfera e a estrutura. Isto irá envolver processos de condução, convecção e radiação. Todos estes processos contribuem para o aumento da temperatura nos elementos da estrutura;
3. Avaliação da solicitação em caso de incêndio, sendo inferior à da temperatura ambiente devido à aplicação de coeficientes parciais de segurança e alterações nas propriedades termomecânicas dos materiais;
4. Determinação da resposta da estrutura à temperatura em estudo.

Esta abordagem é refletida nos métodos apresentados na EN 1991-1-2 e EN 1992-1-2. Tendo em conta o objetivo desta dissertação, neste capítulo serão abordados todos estes pontos segundo as normas referidas exceto a avaliação da solicitação em caso de incêndio.

2.1 ASPETOS GERAIS

O fogo é entendido como uma mistura de gases a altas temperaturas. Esta mistura é resultado do processo químico de oxidação, caracterizado por ser uma reação fortemente exotérmica com a libertação de calor, radiação (no espectro visível e infravermelho) e gases. Para que esta reação ocorra é necessário a conjugação dos seguintes elementos (vulgarmente conhecido pelo tetraedro do fogo):



Figura 2.1 – Tetraedro do fogo (Lopes, 2012)

- Combustível - Componente inflamável, normalmente de origem orgânica;
- Comburente - Elemento que oxida o combustível como o oxigênio;
- Fonte de Ignição - Fonte de energia suficiente para iniciar a reação;
- Reação em Cadeia - Permite a manutenção do fogo.

2.1.1 Incêndio

O processo de desenvolvimento de um incêndio (apresentado na figura 2.2) pode ser descrito em quatro fases (Vila Real 2003):

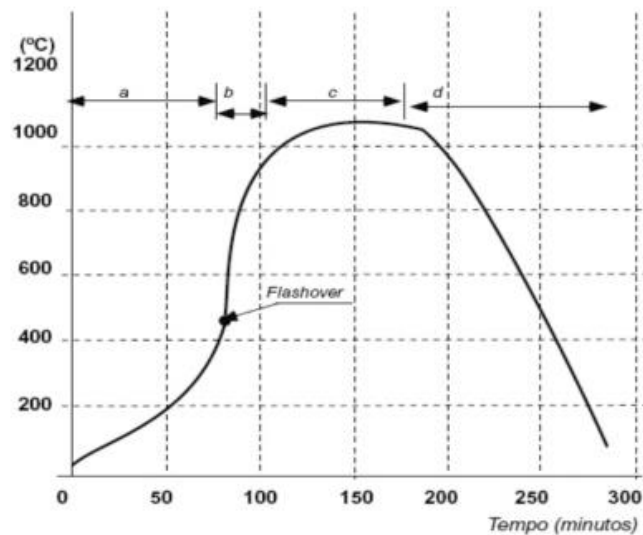


Figura 2.2 – Exemplo de curva de incêndio (Lopes, 2004)

- Fase inicial ou fase de ignição (a): Fase onde as temperaturas são baixas não tendo influência no comportamento estrutural dos edifícios. Esta fase não se apresenta nas curvas temperaturas-tempo que irão ser futuramente referenciadas embora sejam do ponto de salvaguarda de vidas a fase mais crítica devido a produção de gases tóxicos durante a mesma.
- Fase de propagação (b): durante esta fase o fogo espalha-se por radiação ou contacto direto, dando-se num determinado momento a inflamação súbita dos gases generalizando-se o incêndio por todo o compartimento. Este fenómeno é conhecido por *flashover* ocorrendo quando as temperaturas abaixo do nível do teto se encontram entre os 450 °C e os 600 °C. Após este instante as temperaturas sobem rapidamente.
- Fase de desenvolvimento pleno (c): ocorre a queima do material combustível mantendo-se as temperaturas relativamente constantes.
- Fase de extinção ou de arrefecimento (d): as temperaturas diminuem progressivamente, seja por falta de combustível, oxigénio ou intervenção de terceiros (bombeiros ou outros).

A fase inicial e de propagação dependem fundamentalmente da carga de incêndio (combustível) já que o oxigénio é abundante nestas duas fases. No entanto, a quantidade de oxigénio disponível para atuar como comburente tem uma grande influência durante a fase de desenvolvimento pleno do incêndio podendo então ocorrer duas situações:

- i. Fogo controlado pela carga de incêndio: situação em que existe oxigénio suficiente e a taxa de combustão depende apenas das características e da quantidade do material combustível.
- ii. Fogo controlado pela ventilação: devido ao pequeno tamanho das aberturas de ventilação em relação à dimensão do incêndio, a combustão fica condicionada pela quantidade de oxigénio disponível.

2.2 TRANSMISSÃO DO CALOR

A transmissão de calor pode ser definida como a propagação de energia de uma região para outra de um meio sólido, líquido ou gasoso devido a um diferencial de temperatura entre elas. Estas transferências podem ocorrer por mecanismos de condução, convecção e/ou radiação definidos pela norma EN 1991-1-2 e expostos de seguida.

2.2.1 Condução

Sempre que existe uma diferença de temperaturas num sistema, o calor flui da região com a temperatura mais elevada para a de temperatura mais baixa (segunda lei da termodinâmica) sendo, portanto, o conhecimento da distribuição de temperaturas no sistema essencial para o estudo da transmissão do calor.

A lei de Fourier estabelece que o fluxo de calor através um material é proporcional ao gradiente negativo de temperatura ou seja:

$$q_c = \frac{Q}{A} = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (2.1)$$

q_c fluxo de calor por condução [W/m^2];

Q quantidade de calor [W];

A área da secção através da qual o calor flui, medida perpendicularmente à direcção do fluxo [m^2];

λ condutividade térmica do material [$W/m^\circ C$];

$\frac{\partial \theta}{\partial x}$ razão da variação da temperatura com a distância na direcção do fluxo de calor [$^\circ C/m$].

A equação geral para a transferência de calor em condução para um material isotrópico admitindo a condutividade térmica constante ao longo do material, tem a seguinte forma:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (2.2)$$

α difusibilidade térmica do material com $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c}$ [m^2/s].

A massa volúmica (ρ), o calor específico (c) e a condutividade térmica (λ), são então propriedades relevantes dos materiais, para determinar a sua temperatura em situação de incêndio.

2.2.2 Convecção

A convecção esta caracteriza-se pela transmissão de calor através do movimento de um fluido (liquido ou gasoso) quer devido ao contacto com partes solidas devido ao gradiente térmico.

A convecção pode ainda ser natural (quando o movimento é originado pela ação térmica do próprio fluido) ou forçada (quando provocada pela atuação de agentes externos como ventoinhas ou bombas centrifugas por exemplo).

O efeito global da convecção pode ser expresso através da lei de arrefecimento de Newton que relaciona a quantidade de calor transmitida entre a superfície e o fluido que o rodeia:

$$q_c = \alpha_c(\theta_g - \theta_\infty) \quad (2.3)$$

- q_c fluxo de calor por convecção [W/m^2];
- α_c coeficiente de transferência de calor por convecção [$W/m^2\text{°C}$];
- θ_g temperatura dos gases na proximidade do elemento exposto ao fogo [°C];
- θ_∞ temperatura do fluido ou ambiente [°C].

2.2.3 Radiação

A radiação consiste na transmissão de energia por emissão e propagação ondas eletromagnéticas, através de meio solido, liquido, gasoso ou vácuo sendo estas depois refletidas, transmitidas e absorvidas pelo corpo onde incidem.

Qualquer corpo acima de 0 K emite energia radiante, sendo este fenómeno traduzido na lei de Stefan-Boltzmann:

$$q_r = \Phi \varepsilon_f \varepsilon_m \sigma [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \quad (2.4)$$

- q_r Fluxo de calor por radiação [W/m^2];
- Φ Fator de configuração = 1 pela EN 1991-1-2;
- ε_f Emissividade do fogo;

ε_m	Emissividade da superfície do elemento ($0 < \varepsilon < 1$);
σ	Constante de Stefan-Boltzmann = $5.6703 \times 10^{-8} [W/m^2K^4]$;
θ_r	Temperatura da superfície recetora [K];
θ_m	Temperatura da superfície vizinha [K].

2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS AÇÕES TÉRMICAS

As ações térmicas podem ser definidas através de diferentes métodos com graus de complexidade crescente, estando estes associados depois ao tipo de abordagem, sendo esta prescritiva ou com base no desempenho.

Expõe-se de seguida os diferentes métodos apresentados na EN 1991-1-2.

2.3.1 Curvas nominais

Curvas nominais também conhecidas por curvas temperatura-tempo, são estabelecidas por meio de expressões analíticas simples apresentando o valor da temperatura em função do tempo. Não são representativas de um incêndio real tendo sido obtidas com base em resultados de ensaios experimentais de estruturas e materiais de revestimento de proteção ao fogo realizados em fornos.

Estas curvas apresentam apenas um ramo ascendente, sem considerar as fases de ignição, declínio e extinção, considerando-se que a temperatura dos gases é sempre crescente com o tempo independentemente das características do ambiente e da carga de incêndio e que os elementos estruturais em análise estão expostos desde o primeiro instante a um fogo completamente deflagrado.

A EN 1991-1-2 propõe três tipos de curvas nominais com graus de severidade diferentes, comparadas na figura 2.3.

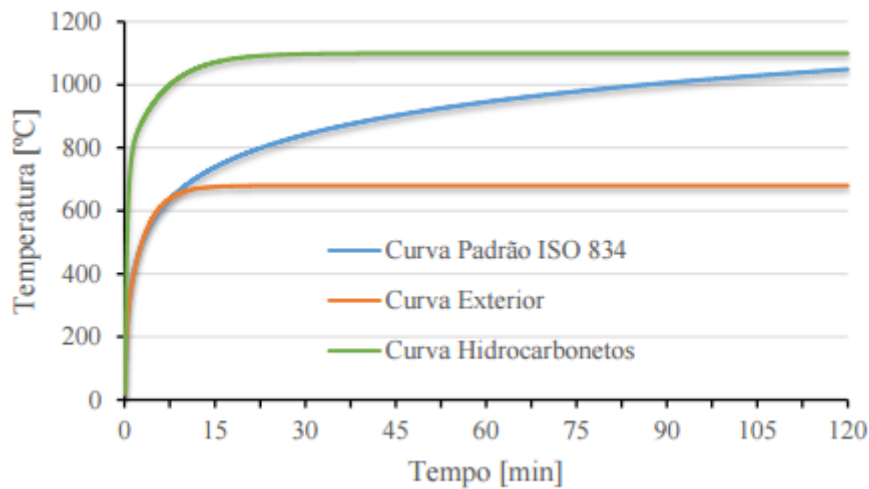


Figura 2.3 – Comparação curvas nominais (Gavina, 2014)

2.3.1.1 Curva de incêndio padrão ISO 834

A curva ISO 834 é a mais utilizada para o cálculo de estruturas edificadas, representando um incêndio num edifício onde o tipo de carga de incêndio (definida em 2.3.4) é de origem celulósica (papel, tecidos, madeira, etc.) sendo também utilizada nos ensaios experimentais em fornalha para determinação da resistência ao fogo dos elementos estruturais. A curva será então definida pela expressão:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (2.5)$$

Em que:

- θ_g temperatura dos gases no compartimento [°C];
- t tempo [min];
- h_c coeficiente de transferência de calor por convecção = $25 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

2.3.1.2 Curva de incêndio para elementos exteriores

Esta curva é utilizada quando os elementos expostos ao fogo são elementos de fachada ou em edificações em que a estrutura resistente se encontra no seu exterior. Considera-se que a carga de incêndio é constituída por elementos celulósicos e que a temperatura de ambientes exteriores onde a estrutura está localizada é inferior àquela que se verifica no interior do compartimento, sendo então definida por:

$$\theta_g = 660(1 - 0.687e^{-0.32t} - 0.313e^{-3.8t}) + 20 \quad (2.6)$$

Em que:

- θ_g temperatura dos gases no compartimento [°C];
- t tempo [min];
- h_c coeficiente de transferência de calor por convecção = 25W/m²°C.

2.3.1.3 Curva de incêndio de hidrocarbonetos

Predominantemente utilizada em projetos de tuneis e ambientes industriais onde a carga de incêndio é composta por hidrocarbonetos (gás, petróleo e derivados, etc.).

De salientar a maior severidade das temperaturas atingidas e do aumento no coeficiente de transferência de calor por convecção a considerar.

Definida por:

$$\theta_g = 1080(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t}) + 20 \quad (2.7)$$

- θ_g temperatura dos gases no compartimento [°C];
- t tempo [min];
- h_c coeficiente de transferência de calor por convecção = 50W/m²°C.

2.3.2 Modelos de incêndio natural

Com os modelos de incêndio natural pretende-se uma aproximação ao comportamento de um incêndio real pela inclusão de parâmetros físicos como:

- Densidade da carga de incêndio (maior carga leva a uma maior duração do incêndio);
- Condições de arejamento, dependentes principalmente da geometria, dimensões e distribuição das aberturas do compartimento;
- Propriedades térmicas das paredes envolventes do compartimento de incêndio.

Na EN 1991-1-2 são apresentados dois grupos de modelos de incêndio natural (figura 2.4) com graus de complexidade diferente tendo em conta a consideração de mais ou menos parâmetros físicos.

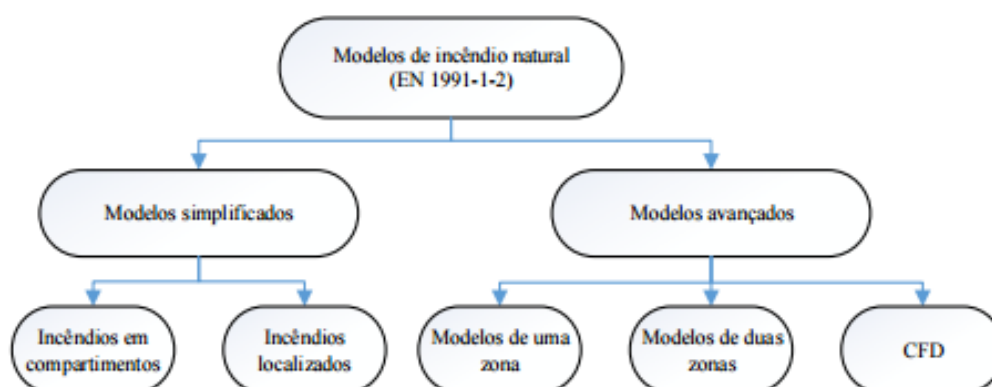


Figura 2.4 – Modelos de incêndio natural (Gavina, 2014)

2.3.2.1 Modelos simplificados

Os modelos simplificados são baseados em parâmetros físicos específicos, apresentando domínios de aplicação limitados. As relações temperatura-tempo, para estes modelos de incêndio, seguem fórmulas empíricas baseadas em ensaios e por ajuste de curvas padronizadas. Dentro dos modelos simplificados, a EN 1991-1-2 distingue os incêndios em compartimentos e os incêndios localizados, correspondentes a curvas de incêndio *pós-flashover* (à semelhança das curvas nominais) e *pré-flashover*, respetivamente. Como tal, para os incêndios em compartimentos, admite-se que a distribuição da temperatura dos gases em função do tempo é uniforme no interior do compartimento, enquanto para os incêndios localizados, se admite uma distribuição não uniforme da temperatura. Existe ainda uma subdivisão nos incêndios em compartimentos, distinguindo-se a análise para elementos interiores por intermédio de curvas paramétricas, da análise para elementos exteriores por chamas emergentes das aberturas do compartimento.

2.3.2.1.1 Incêndios em compartimentos

Consistem em curvas temperatura-tempo baseadas no pressuposto que a carga de incêndio é totalmente consumida, possuindo uma fase de aquecimento e outra de arrefecimento e sendo apenas válidas para as condições expostas no anexo A da EN 1991-1-2:

- Área em planta $\leq 500 \text{ m}^2$;
- Sem aberturas no teto;
- Altura do compartimento $\leq 4 \text{ m}$.

2.3.2.1.2 Incêndios localizados

De uma forma geral e salvo raras exceções, todos os incêndios em edifícios começam com um incêndio localizado, tratando-se no fundo de uma fase pré-*flashover*. Após esta fase, o incêndio passa de localizado a desenvolvido na totalidade de um compartimento. A EN 1991-1-2 diz que nos casos em que a ocorrência de combustão generalizada é improvável, as ações térmicas de um incêndio localizado devem ser tidas em conta. Segundo Franssen e Vila Real (2010), o termo “improvável” pode ser enganador. Assim, apesar da combustão generalizada num compartimento muito amplo (Ex: gare de um aeroporto) seja improvável de ocorrer, não quer dizer que não deva ser também analisada. A expressão mais indicada deveria ser que as ações térmicas de um incêndio localizado devem ser tidas em conta quando o *flashover* ainda não ocorreu, isto é, em fase pré-*flashover*. Isto quer dizer que os incêndios localizados podem ser ignorados, quando são utilizados modelos de incêndio pós-*flashover*. O anexo C da EN 1991-1-2 fornece de forma simplificada o método de cálculo do fluxo de calor na superfície de elementos submetidos a incêndios localizados, distinguindo os casos em que a chama atinge o teto e os casos em que não o atinge.

2.3.2.2 Modelos avançados

Os modelos de incêndio avançados simulam o incêndio real, tendo em conta as propriedades dos gases quentes, as trocas de massa e energia libertada pela combustão, através de modelação numérica aplicada a fenómenos de transferência de calor da termodinâmica para um regime transiente de aquecimento. Os modelos avançados propostos pela EN 1991-1-2 são o modelo de uma zona, o modelo de duas zonas e os modelos computacionais de dinâmica dos fluidos (CFD). O anexo D da EN 1991-1-2 fornece uma descrição de cada um destes modelos e tal como estipula o anexo nacional, a escolha de um destes modelos é deixada ao critério do projetista em função da importância do projeto e dos objetivos pretendidos. Ainda de acordo com o anexo nacional da mesma norma, a utilização de modelos de cálculo avançados é permitida, desde que sejam devidamente validados e justificados no que se refere aos parâmetros adotados, ao método de cálculo utilizado e a eventuais comparações com outros modelos.

2.3.2.2.1 Modelos de zonas

Modelos de zonas são o nome dado às formulações numéricas que simulam o desenvolvimento da temperatura dos gases em função do tempo, integrando as equações diferenciais que expressam a conservação de massa e de energia para cada zona do compartimento. A temperatura é considerada uniforme em cada zona. Com estes modelos, para além da informação da evolução da temperatura dos gases no compartimento, também se obtêm dados como a temperatura nas paredes ou a velocidade dos gases através das aberturas (Vassart et al., 2008). Nos modelos de uma zona admite-se que o incêndio

está desenvolvido em todo o compartimento, ou seja, representando uma situação pós-*flashover*. Já os modelos de duas zonas são utilizados para modelar o incêndio desde sua ignição, ou seja, quanto este ainda tem um carácter localizado, representando uma situação de pré-*flashover*. Nestes modelos considera-se que o compartimento se encontra dividido em duas camadas, uma camada superior a temperatura elevada e uma camada inferior onde a temperatura permanece mais baixa, e admitindo-se que a temperatura é uniforme em cada uma das zonas. Alguns modelos podem começar num modelo de duas zonas e terminar num modelo de uma zona, passando então pelas fases de pré e pós-*flashover*.

2.3.2.2 Modelos computacionais de dinâmica de fluidos

Os modelos computacionais baseados na mecânica dos fluidos (CFD) são muito complexos e morosos para serem utilizados de forma corrente enquanto método de cálculo das temperaturas num compartimento em situação de incêndio. Estes modelos reservam-se para projetos de elevada complexidade e são geralmente aplicados no âmbito de trabalhos de investigação e por especialistas da engenharia de incêndios, e implicam o recurso a programas específicos. Neste tipo de análise o aquecimento do ar é descrito pela dinâmica dos fluidos, abrangendo todas as fases de desenvolvimento de um incêndio. O anexo D da EN 1991-1-2 apresenta apenas as hipóteses principais que devem ser respeitadas ao usar um programa informático para estabelecer o campo de temperaturas de um incêndio, exigindo-se sempre uma validação experimental modelo CFD.

2.3.3 Expressões analíticas das curvas paramétricas

Como referido anteriormente no ponto 2.3.2.1.1, no anexo A da EN 1991-1-2 são apresentadas as expressões para a determinação de curvas de incêndio paramétricas para incêndios em compartimentos segundo as condições expostas. Denotar que se as densidades de carga de incêndio forem definidas sem se ter em conta especificamente o comportamento de combustão (abordado adiante), a aplicação do método exposto de seguida deverá ser limitada aos compartimentos com cargas de incêndio predominantemente celulósicas.

A fase de aquecimento da curva é traduzida pela seguinte expressão:

$$\theta_g = 20 + 1325(1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*}) \quad (2.8)$$

Em que:

$$\begin{aligned} \theta_g & \text{ temperatura dos gases no compartimento [}^\circ\text{C];} \\ t^* & \text{ tempo fictício} = t \cdot \Gamma \text{ [h];} \end{aligned} \quad (2.8a)$$

com:

- t tempo [h];
- $\Gamma = [O/b]^2 / (0.04/1160)^2$
- $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ com os limites: $100 \leq b \leq 2200$ [J/m²s^{1/2}K];
- ρ massa volúmica da envolvente do compartimento [kg/m³];
- c calor específico da envolvente do compartimento [J/kgK];
- λ condutibilidade térmica da envolvente do compartimento [W/mK];
- O fator de abertura = $A_V \sqrt{h_{eq}} / A_t$ com os limites: $0.02 \leq O \leq 0.20$ [m^{1/2}];
- A_V área total das aberturas verticais em todas as paredes [m²];
- h_{eq} media ponderada dos valores das alturas das aberturas em todas as paredes [m]
- A_t área total da superfície envolvente [m²].

Referência ao facto que no caso de $\Gamma = 1$, com $O = 0.04$ m^{1/2} e $b = 1160$ J/m²s^{1/2}K, a curva de aquecimento (2.8) aproxima-se da curva de incêndio padrão ISO 834 (2.5).

No cálculo do fator b , a massa volúmica ρ , o calor específico c e a condutividade térmica λ da envolvente do compartimento de incêndio devem ser considerados à temperatura ambiente. Por outro lado, para ter em conta envolventes com diferentes camadas de material, $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ deve ser calculado a partir de:

$$\text{Se } b_1 < b_2, b = b_1 \tag{2.9}$$

Se $b_1 < b_2$, deve ser calculada uma espessura limite s_{lim} para o material exposto ao fogo, de acordo com:

$$s_{lim} = \sqrt{\frac{3600 t_{max} \lambda_1}{c_1 \rho_1}} \text{ [m]} \tag{2.10}$$

Com t_{max} dado pela expressão (2.12).

$$\text{Se } s_1 > s_{lim} \text{ então } b = b_1 \quad (2.10a)$$

$$\text{Se } s_1 < s_{lim} \text{ então } b = \frac{s_1}{s_{lim}} b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{lim}}\right) b_2 \quad (2.10b)$$

Em que:

O índice 1 representa a camada diretamente exposta ao fogo, o índice 2 a camada seguinte, etc;

s_i espessura da camada i [m];

$b_i = \sqrt{(\rho_i c_i \lambda_i)}$ [J/m²s^{1/2}K];

ρ_i massa volúmica da camada i [kg/m³];

c_i calor específico da camada i [J/kgK];

λ_i condutibilidade térmica da camada i [W/mK];

Para diferentes fatores b nas paredes, no teto e no pavimento, $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ deverá ser calculado através de:

$$b = (\sum(b_j A_j)) / (A_t - A_v) \quad (2.11)$$

Em que:

A_j área da superfície envolvente j não incluindo as aberturas [m²];

b_j propriedade térmica da superfície envolvente j de acordo com as expressões (2.9) e (2.10) [J/m²s^{1/2}K].

A temperatura máxima θ_{max} na fase de aquecimento acontece para $t^* = t^*_{max}$:

$$t^*_{max} = t_{max} \cdot \Gamma \quad [h] \quad (2.12)$$

Com $t_{max} = \max \left[\left(0.2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{q_{t,d}}{0} \right); t_{lim} \right] \quad [h]$

Em que:

$q_{t,d}$ valor de cálculo da densidade de carga de incêndio referida à área A_t da superfície envolvente total em que $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$ [MJ/m²]. Deverão ser observados os seguintes limites $50 \leq q_{t,d} \leq 1000$ [MJ/m²];

$q_{f,d}$ valor de cálculo da densidade de carga de incêndio referida à área de superfície A_f do pavimento [MJ/m²], dado pela equação (2.17);

t_{lim} definido em função da velocidade de propagação do incêndio sendo esta determinada pela ocupação do compartimento.

Tabela 2.1 – Valores de t_{lim} (EN 1991-1-2)

Velocidade de propagação do incêndio	t_{lim}
Lenta	25 minutos
Média	20 minutos
Rápida	15 minutos

Tabela 2.2 – Velocidades de propagação do incêndio para diferentes ocupações dos compartimentos (EN 1991-1-2)

Ocupação	Velocidade de propagação do incêndio
Habitação	Média
Hospital (quarto)	Média
Hotel (quarto)	Média
Biblioteca	Rápida
Escritório	Média
Sala de aulas em escola	Média
Centro comercial	Rápida
Teatro (cinema)	Rápida
Transportes (espaço público)	Lenta

Caso o tempo t_{max} correspondente à temperatura máxima for dado por t_{lim} o incêndio diz-se controlado pela carga de incêndio. Caso contrario, se t_{max} for dado por $\left(0.2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{q_{t,d}}{O}\right)$, o incêndio diz-se controlado pela ventilação.

Quando $t_{max} = t_{lim}$, t^* utilizado na expressão (2.8) é substituído por:

$$t^* = t \cdot \Gamma_{lim} \quad [h] \quad (2.13)$$

$$\text{Com } \Gamma_{lim} = [O_{lim}/b]^2 / (0.04/1160)^2 \quad (2.14)$$

$$\text{Em que } O_{lim} = 0.1 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / t_{lim} \quad [m^{1/2}]$$

Se $O > 0.04$, $q_{t,d} < 75$ e $b < 1160$, Γ_{lim} em (2.13) tem de ser multiplicado por k obtido por:

$$k = 1 \left(\frac{O - 0.04}{0.04} \right) \left(\frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \left(\frac{1160 - b}{1160} \right) \quad (2.15)$$

Na fase de arrefecimento, as curvas tempo-temperatura são obtidas por:

$$\theta_g = \theta_{max} - 625(t^* - t^*_{max} \cdot x) \text{ se } t^*_{max} \leq 0.5 \quad (2.16a)$$

$$\theta_g = \theta_{max} - 250(3 - t^*_{max} \cdot x)(t^* - t^*_{max} \cdot x) \text{ se } 0.5 < t^*_{max} \leq 2 \quad (2.16b)$$

$$\theta_g = \theta_{max} - 250(t^* - t^*_{max} \cdot x) \text{ se } t^*_{max} \geq 2 \quad (2.16c)$$

Em que:

$$t^* \quad \text{definido em (2.8a) [h];}$$

$$t^*_{max} = (0.2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O) \cdot \Gamma \quad [h]; \quad (2.17)$$

$$x = 1 \text{ se } t_{max} > t_{lim}, \text{ ou } x = t_{lim} \cdot \Gamma / t^*_{max} \text{ se } t_{max} = t_{lim}$$

2.3.4 Densidades de carga de incêndio

Como definido no anexo E da EN 1991-1-2, a densidade de carga de incêndio utilizada nos cálculos deverá ser um valor de cálculo decorrente de medições ou, em casos especiais, baseado nas exigências de resistência ao fogo constantes dos regulamentos nacionais.

O valor de cálculo poderá ser obtido:

- A partir de uma classificação nacional de cargas de incêndio de acordo com o tipo de ocupação do espaço; e/ou
- Especificamente para cada projeto, efetuando um estudo de cargas de incêndio.

O valor de cálculo da densidade de carga de incêndio é definido por:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \quad (2.18)$$

Em que:

$q_{f,d}$ valor de cálculo da densidade de carga de incêndio por unidade de área do pavimento [MJ/m²];

m fator de combustão (para materiais celulósicos $m = 0,8$, ou conservativamente pode usar-se $m = 1$);

δ_{q1} fator que traduz a influência das dimensões do compartimento no risco de ativação de incêndio (Tabela 2.3);

δ_{q2} fator que traduz a influência do tipo de ocupação no risco de ativação de incêndio (Tabela 2.4);

$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$ fator que tem em conta as diferentes medidas ativas de combate a incêndios i (extinção, deteção, transmissão automática de alarme, bombeiros...). Estas medidas ativas são geralmente impostas por motivos de segurança das pessoas (Tabela 2.4);

$q_{f,k}$ valor característico da densidade de carga de incêndio por unidade de área do pavimento [MJ/m²] (Tabela 2.6).

Tabela 2.3 – Fatores δ_{q1} e δ_{q2} (EN 1991-1-2)

Área em planta do compartimento, A_f m ²	Perigo de ativação do incêndio δ_{q1}	Perigo de ativação de incêndio δ_{q2}	Tipo de ocupação
25	1,10	0,78	Galeria de arte, museu, piscina
250	1,50	1,00	Escritório, residência, hotel, indústria do papel
2500	1,90	1,22	Fábrica de máquinas e motores
5000	2,00	1,44	Laboratório químico, oficina de pintura
10000	2,13	1,66	Fábrica de pirotecnia ou tintas

Tabela 2.4 – Fatores δ_{ni} (EN 1991-1-2)

Função de medidas ativas de combate a incêndio δ_{ni}									
Extinção automática de incêndio		Detecção automática de incêndio		Extinção manual de incêndio					
Sistema automático de extinção com água δ_{n1}	Redes independentes de fornecimento de água 0 1 2 δ_{n2}	Detecção e alarme automáticos de incêndio		Transmissão automática de alarme aos bombeiros δ_{n5}	Bombeiros no local δ_{n6}	Bombeiros fora do local δ_{n7}	Vias de acesso seguras δ_{n8}	Dispositivos de combate a incêndios δ_{n9}	Sistema de exaustão de fumos δ_{n10}
		Pelo calor δ_{n3}	Pelo fumo δ_{n4}						
0,61	1,0 0,87 0,7	0,87 ou 0,73		0,87	0,61 ou 0,78		0,9 ou 1 ou 1,5	1,0 ou 1,5	1,0 ou 1,5

Referência ao facto que o anexo nacional da EN 1991-1-2 indica que a utilização do anexo E só pode ser aplicada caso se substitua a expressão (2.16) por:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \quad (2.19)$$

Em que:

$q_{f,d}$ valor de cálculo da densidade de carga de incêndio por unidade de área do pavimento [MJ/m²];

$q_{f,k}$ valor característico da densidade de carga de incêndio por unidade de área do pavimento [MJ/m²];

m fator de combustão.

2.3.4.1 Determinação das Cargas de Incêndio

O valor característico da carga de incêndio é definido por:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \Psi_i = \sum Q_{fi,k,i} \quad (2.20)$$

Em que:

- $M_{k,i}$ quantidade de material combustível [kg]
- H_{ui} poder calorífico efetivo
- Ψ_i fator opcional para avaliar cargas de incêndio protegidas.

Em caso de espaços confinados concebidos para resistir à exposição ao fogo, não é necessário considerar cargas de incêndio.

Cargas de incêndio em espaços confinados não combustíveis sem projeto específico em relação à ação do fogo, mas que se mantenham intactos durante a exposição ao mesmo, poderão ser consideradas da seguinte forma: a maior carga de incêndio, mas pelo menos 10% das cargas de incêndio protegidas, é associada a $\Psi_i = 1,0$. Se esta carga de incêndio mais as cargas de incêndio não protegidas não forem suficientes para aquecer as restantes cargas de incêndio protegidas para além da temperatura de ignição, as restantes cargas de incêndio podem ser associadas a $\Psi_i = 0,0$. Caso contrário será necessário avaliar separadamente cada valor de Ψ_i .

2.3.4.2 Poderes Caloríficos Específicos

Os poderes caloríficos efetivos deverão ser determinados de acordo com a EN ISO 1716:2002

O teor de água nos materiais poderá ser determinado da seguinte forma:

$$H_u = H_{u0}(1 - 0.01u) - 0.025u \quad (2.21)$$

Em que:

- u teor de água expresso em percentagem do peso seco;
- H_{u0} poder calorífico efetivo dos materiais secos [MJ/m²].

Seguem-se os poderes caloríficos efetivos de alguns materiais:

Tabela 2.5 – Poder calorífico efetivo [MJ/m²] de vários materiais (EN 1991-1-2)

Sólidos	
Madeira	17.5
Outros materiais celulósicos <ul style="list-style-type: none"> • Vestuário • Cortiça • Algodão • Papel, Cartão • Seda • Palha • Lã 	20
Carbono <ul style="list-style-type: none"> • Antracite • Carvão vegetal • Carvão 	30
Produtos Químicos	
Série das parafinas <ul style="list-style-type: none"> • Metano • Etano • Propano • Butano 	50
Série das olefinas <ul style="list-style-type: none"> • Etileno • Propileno • Buteno 	45
Série das aromáticas <ul style="list-style-type: none"> • Benzeno • Tolueno 	40
Álcoois <ul style="list-style-type: none"> • Metanol • Etanol • Álcool etílico 	30
Combustíveis <ul style="list-style-type: none"> • Gasolina, petróleo • Gasóleo 	45

Plásticos de hidrocarbonetos puros <ul style="list-style-type: none"> • Polietileno • Polistireno • Polipropileno 	40
Outros produtos	
ABS (plástico)	35
Póliester (plástico)	30
Polisocianurato e poliuretano (plásticos)	25
Policloreto de vinilo, PVC (plástico)	20
Betume, asfalto	40
Cabedal	20
Linóleo	20
Borracha de pneu	30
Nota: Os valores apresentados não se aplicam ao cálculo do teor energético dos combustíveis	

2.3.4.3 Classificação das densidades de carga de incêndio de acordo com o tipo de utilização

As densidades de carga de incêndio devem ser escolhidas de acordo com a tabela 2.6 em função da ocupação do compartimento sujeito ao incêndio. As densidades de carga de incêndio referem-se apenas às cargas mobiliárias e estão referidas à área de pavimento.

Estes valores são apenas válidos para um fator $\delta_{q2} = 1.0$ (ver tabela 2.3)

No caso de compartimentos com uma ocupação diferente as referenciadas de seguida, deve-se proceder a avaliação da sua densidade de carga de incêndio com recurso a expressão apresentada em (2.18). Caso as cargas de incêndio dos edifícios (elementos de construção, revestimentos e acabamentos) sejam relevantes estas devem ser determinadas segundo a expressão (2.18) e adicionadas aos valores apresentados de seguida.

Tabela 2.6 – Valores característicos da densidade de carga de incêndio por unidade de área de pavimento de acordo com a ocupação (EN 1991-1-2)

Densidade de carga de incêndio $q_{f,k}$ [MJ/m ²]		
Ocupação	Valor médio	Quantilho 80%
Habitação	780	948
Hospital (quarto)	230	280
Hotel (quarto)	310	377
Biblioteca	1500	1824
Escritório	420	511
Sala de aulas em escola	285	347
Centro comercial	600	730
Teatro (cinema)	300	365
Transportes (espaço publico)	100	122

2.4 MODELOS DE CÁLCULO SIMPLIFICADOS

A EN 1992-1-2, como demonstrado na figura 2.5, apresenta vários métodos de verificação ao fogo de estruturas em função das ações térmicas consideradas (curvas nominais (2.3.1), curvas paramétricas (2.3.2.1) ou outras (2.3.2.2)), do grau de simplificação da estrutura (análise por elementos, partes da estrutura ou a sua totalidade) e do grau de sofisticação do cálculo da capacidade de carga.

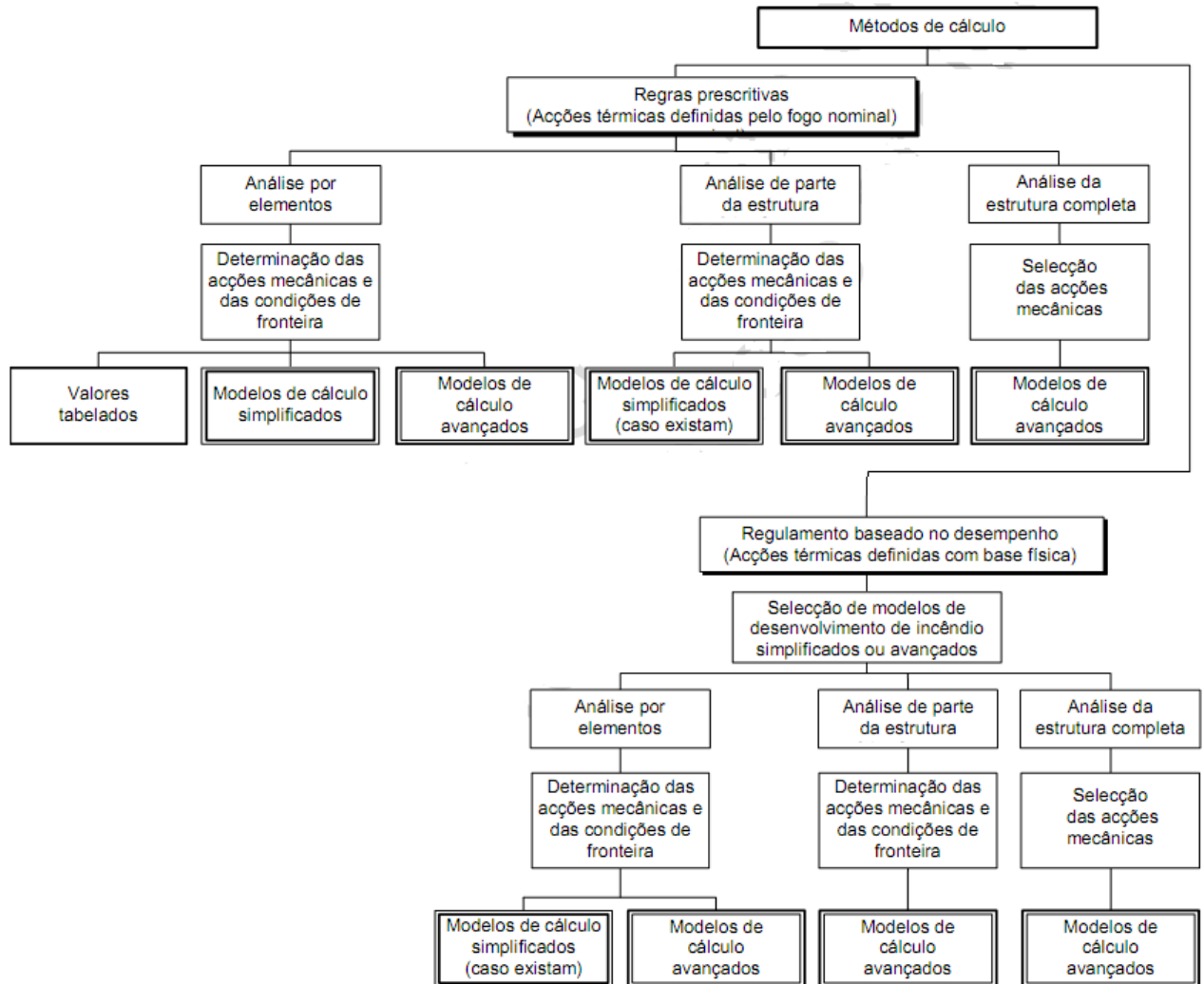


Figura 2.5 – Métodos de cálculo para determinação da resistência ao fogo (EN 1992-1-2)

A análise da estrutura poderá ser feita em três níveis diferentes sendo o mais simples e corrente a análise de elementos isolados da estrutura, sendo desprezada a interação entre eles (análise conservativa). O método de análise de partes da estrutura já tem essas interações em conta sendo necessário definir as condições fronteira entre as mesmas, sendo estas consideradas constantes ao longo

do tempo. O método de análise da estrutura completa e um processo extremamente complexo de modelação sendo raramente utilizado.

Quanto as metodologias de cálculo a EN 1992-1-2 apresenta três modelos:

- Método Baseado em Tabelas: consiste em tabelas com disposições construtivas baseadas em ensaios experimentais em fornalha ou dados empíricos, sendo apenas utilizado para análises de elementos isolados da estrutura;
- Métodos Simplificados: análise de secções transversais de elementos, considerando o comportamento dos materiais em função do aumento de temperatura
- Métodos de Cálculo Avançado: simulação do comportamento de elementos estruturais, partes da estrutura completa, sendo obrigatório a validação dos resultados obtidos. Esta mesma obrigação demonstra a não recomendação da sua utilização.

Na EN 1992-1-2 são apresentados os procedimentos para a utilização dos dois primeiros métodos, referindo apenas as bases para a utilização dos métodos de cálculo avançado.

Devido ao tema da tese e sendo importante apenas perceber a lógica dos processos da engenharia de segurança contra incêndios, só serão apresentados os métodos simplificados, sendo necessário assumir algumas hipóteses destacando-se as seguintes:

- A análise por elementos é considerada uma análise suficiente para a estrutura;
- Efeitos de corte ou torção são considerados no método baseado em tabelas, mas não nos restantes métodos simplificados;
- Não é considerado nenhum gradiente térmico ao longo do comprimento longitudinal dos elementos, assumindo-se assim que todas as secções se encontram sujeitas ao mesmo incêndio;
- Os efeitos de *spalling* e fissuração não são considerados nestes métodos.

2.4.1 Método da isotérmica 500°C

O método da isotérmica 500°C consiste na determinação de uma secção transversal reduzida (figura 2.6), não se considerando uma zona de betão afetada pela temperatura e aplicando fatores de redução das propriedades termomecânicas dos materiais conforme as suas respectivas temperaturas. A espessura de betão danificada, para betões com agregados siliciosos, é determinada através da isotérmica 500°C podendo, no entanto, para betões com outros agregados ser considerada uma isotérmica abaixo dos 500°C ou mesmo 400 °C (fib, 2007).

A aplicação deste método pode fazer recurso tanto a curvas nominais ou paramétricas desde que estas apresentem uma relação tempo-temperatura, e recorrendo a perfis de temperatura (apresentados no capítulo 2.5) para determinar a secção reduzida. Os fatores das alterações das propriedades mecânicas devido ao aumento da temperatura são também apresentados na EN 1992-1-2 (capítulo 2.6).

O método apresenta limitações na sua aplicação, sendo necessário que se verifique as larguras mínimas para a secção transversal apresentadas no quadro B1 da EN 1992-1-2:

Para a ISO 834:

Tabela 2.7 – Largura mínima da secção transversal em função da resistência ao fogo (EN 1992-1-2)

Resistência ao Fogo	R 60	R 90	R 120	R 180	R 240
Largura mínima transversal (mm)	90	120	160	200	280

E para curvas paramétricas com um fator de abertura $O \geq 0.14m^{1/2}$ (EN 1991-1-2 anexo A):

Tabela 2.8 – Largura mínima da secção transversal em função da densidade de carga de incêndio (EN 1992-1-2)

Densidade de carga de incêndio (MJ/m²)	200	300	400	600	800
Largura mínima da secção transversal (mm)	100	140	160	200	240

Apresenta-se de seguida a metodologia de aplicação do método:

- Determinação da isotérmica dos 500 °C para o tempo de exposição ao fogo requerido através de perfis de temperatura da secção;
- Determinação da largura, b_{fi} , e altura, h_{fi} , da secção de betão, excluindo a zona com temperatura superior a 500 como exemplificado na figura 2.7
- Determinação da temperatura de cada varão existente na secção, sendo esta igual a temperatura no centro de cada varão. Caso o varão não se encontre na secção de betão reduzida obtida no passo anterior deve ser considerado igualmente no cálculo da capacidade resistente;
- De modo a facilitar o cálculo determinar o coeficiente de redução médio de cada camada de armadura;
- Determinação da capacidade resistente da secção através dos métodos convencionais usando a secção de betão reduzida, e aplicando os coeficientes de redução de resistência do aço;
- Comparação da capacidade resistente com o efeito da ação atuante.

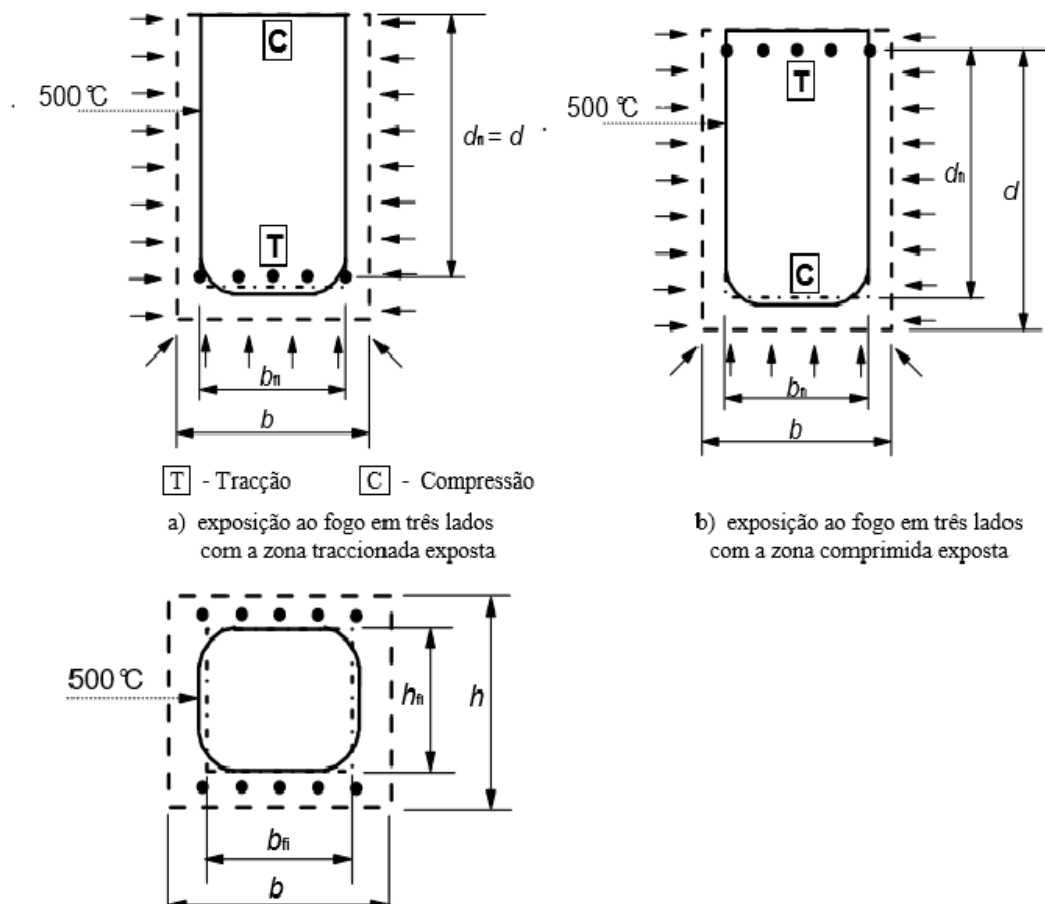


Figura 2.6 – Secção transversal reduzida de vigas ou pilares em betão armado (EN 1992-1-2)

2.4.2 Método das zonas

O método das zonas é um método mais trabalhoso, mas ao mesmo tempo também mais rigoroso que o método da isotérmica 500°C particularmente para pilares sujeitos a compressão pura (Naranayan e Beeby, 2005). Outra vantagem será a possibilidade de considerar efeitos de segunda ordem via fatores de correção. Este pode ser aplicado a qualquer curva de incêndio totalmente desenvolvido sendo que na EN-1992-1-2 estão só apresentados os valores para a curva incêndio padrão.

Este método consiste na divisão da secção transversal em um número ($n \geq 3$) de zonas paralelas com igual espessura, sendo determinada a temperatura, a resistência à compressão em função da temperatura ($f_{cd}(\theta)$) e o modulo de elasticidade médios de cada zona.

A zona danificada da secção transversal é representada por uma secção reduzida sendo ignorada uma zona de espessura a_z paralela às superfícies expostas ao fogo como exemplificado na figura 2.7. Sendo M um ponto qualquer na linha média de uma secção exposta ao fogo em duas faces, a largura supõe-se igual a $2w$ ou igual a w caso esteja exposta em apenas uma face. Em caso de uma secção retangular com fogo a toda a volta e em que a altura é maior que a largura, a zona danificada dos topos considera-se igual a a_z das faces laterais (exemplos b), e) e f) da figura 2.7). A espessura da zona danificada a_z e a redução das propriedades do betão devem ser determinadas para cada zona retangular da secção transversal podendo a_z ser diferente no banzo ou na alma numa secção em T (exemplo f) da figura 2.7). Considera-se também que o modulo de elasticidade e a tensão de compressão da zona reduzida é constante e igual à do ponto M.

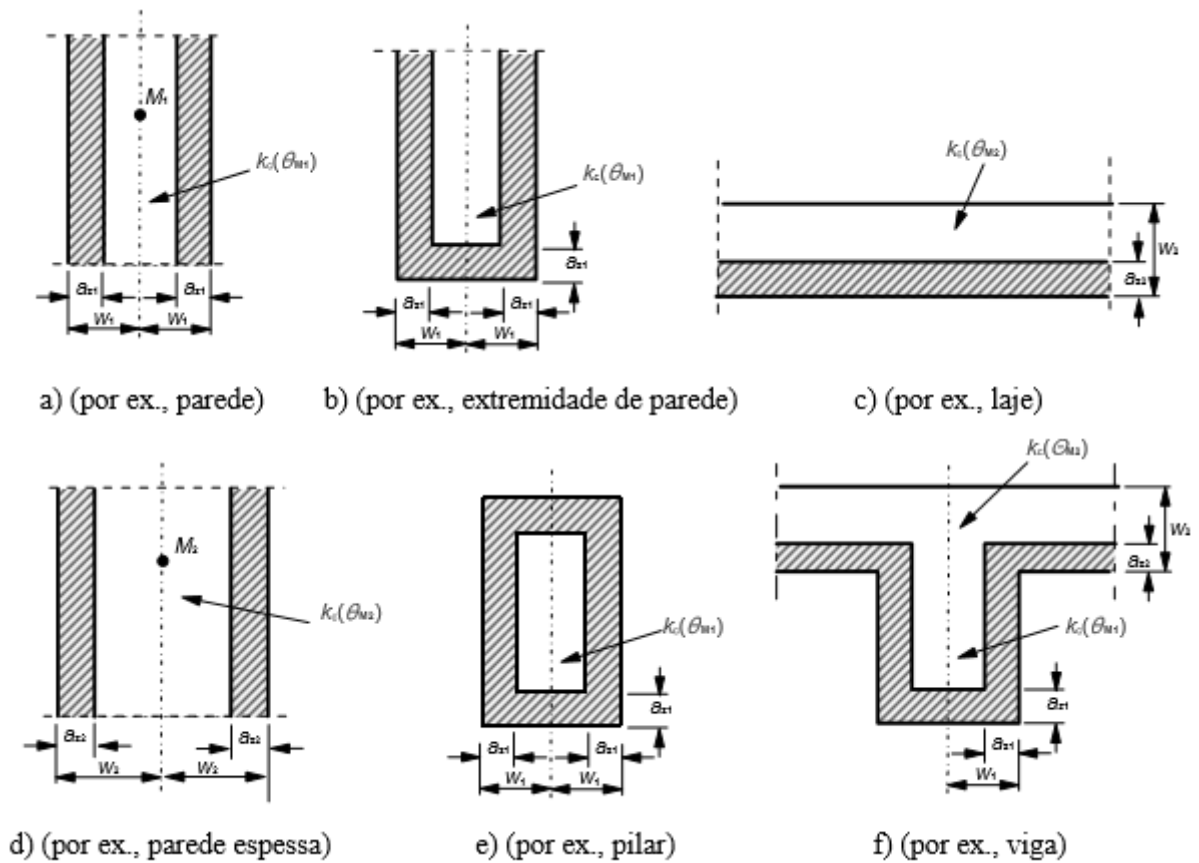


Figura 2.7 – Redução das resistências e da secção transversal para secções expostas ao fogo (EN 1992-1-2)

Para uma secção exposta ao fogo em duas faces, a zona a_z é determinada do seguinte modo (figura 2.8):

- Metade da largura w é dividida em n zonas paralelas e de igual largura com $n \geq 3$.
- Determinação da temperatura no centro de cada zona, θ_i .
- O fator de redução da resistência à compressão ($k_c(\theta_i)$) é determinado em função da temperatura em cada zona.

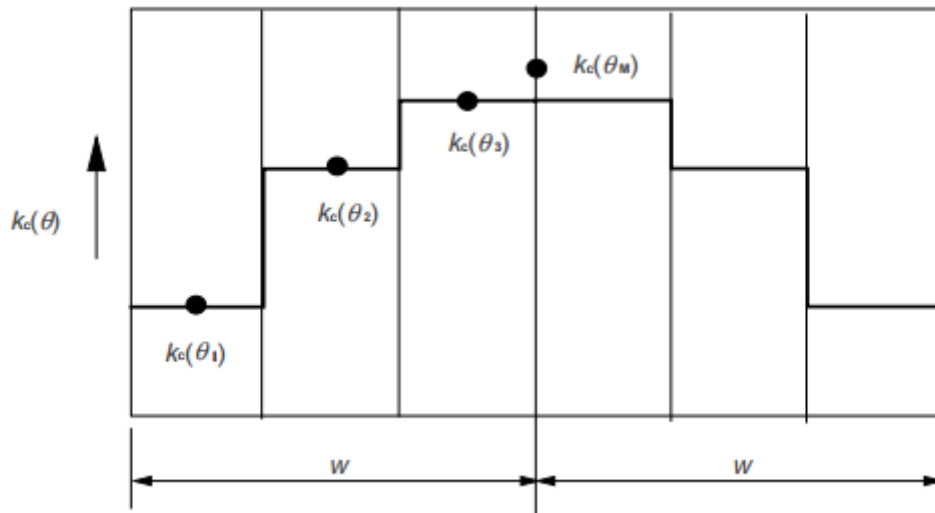


Figura 2.8 – Divisão em zonas de uma parede exposta ao fogo nas duas faces (EN 1992-1-2)

O valor médio do coeficiente de redução para uma zona em particular, tendo em conta a variação de temperatura dentro de cada zona, pode ser determinado através de:

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0.2}{n}}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i) \quad (2.22)$$

Em que:

- n número de zonas paralelas na largura w ;
- w metade da largura da secção;
- m número da zona.

A largura da zona danificada para o caso de vigas, lajes ou outros elementos sujeitos a esforços transversos é determinada por:

$$a_z = w \left[1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right] \quad (2.23)$$

Em que:

- $k_c(\theta_M)$ fator de redução do betão no ponto M.

Para pilares, paredes e outros elementos que apresentem efeitos de segunda ordem:

$$a_z = w \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)^{1.3} \right] \quad (2.24)$$

Após a determinação da secção transversal reduzida, do modulo de elasticidade e da resistência em situação de incêndio é possível determinar a resistência utilizando os métodos convencionais.

2.5 PERFIS DE TEMPERATURA

A EN 1992-1-2 apresenta as alterações das propriedades do betão em função da temperatura, sendo possível determinar recorrendo a expressões, a condutividade, o calor especifico e a massa especifica e a correspondente difusividade térmica com a relação:

$$\alpha_c = \frac{\lambda_c}{\rho c_c} \quad (2.25)$$

Em que:

- α_c Difusividade térmica [m²/s];
- λ_c Condutividade térmica [W/m K];
- ρ Massa especifica [kg/m³];
- c_c Calor especifico [J/kg K].

No anexo A do mesmo documento (e em bibliografia especializada) são apresentados vários perfis de temperatura para vigas, pilares e lajes (estas aplicáveis a paredes com só uma face exposta). Nestes perfis são apresentadas as isotérmicas para um dado tempo de incêndio padrão sendo possível então determinar a temperatura de um ponto dentro da secção.

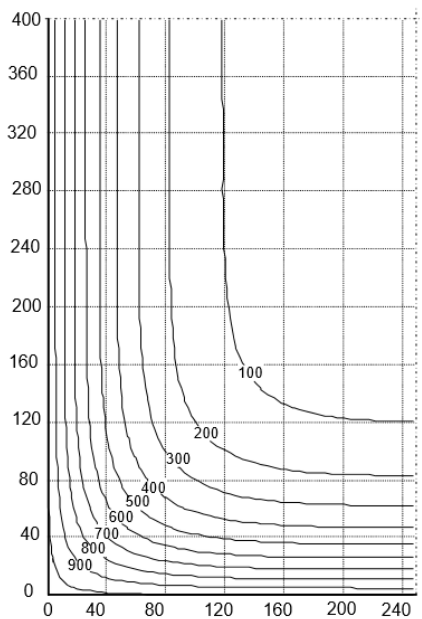


Figura 2.9 – Exemplo de perfil de temperatura (°C) para uma viga $h \times b = 800 \times 500$ (mm) exposta a um incêndio de severidade equivalente à curva ISO 834 com $t = 120$ min (EN 1992-1-2)

Uma outra opção é o recurso a programas de análise por elementos finitos (com base nos métodos apresentados na EN 1992-1-2), os quais geram perfis de temperatura em que é possível extrair informação com mais exatidão das temperaturas e do comportamento dos materiais. As propriedades térmicas do betão necessárias para esta modelação estão presentes na EN 1992-1-2 (capítulo 2.6.1).

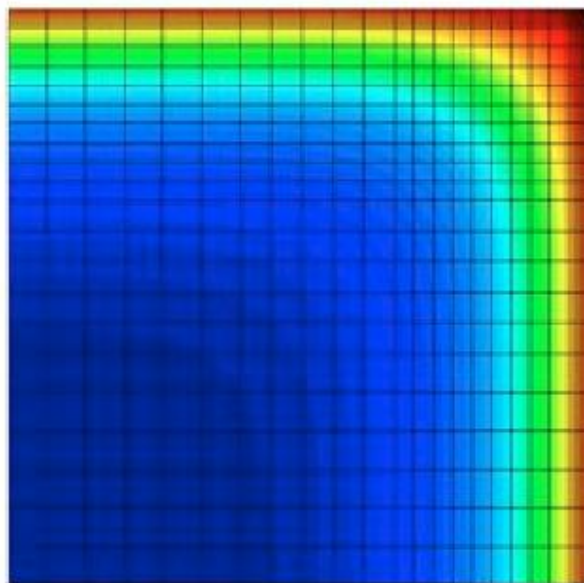


Figura 2.10 – Exemplo de um perfil de temperatura de um quarto de secção de um pilar gerado por programa de análise por elementos finitos (fib bulletin nº38, 2007)

Outro método possível para determinar as variações de temperatura nos elementos durante o incêndio, será o método simplificado proposto por Ulf Wickström (1986). Segundo este autor podemos considerar que o aumento de temperatura na superfície pode ser expresso por:

$$\theta_w = n_w \theta_f \quad (2.26)$$

Em que:

- θ_w Temperatura da superfície;
- θ_f Temperatura do incêndio;
- n_w Relação do aumento de temperatura entre a superfície e o incêndio.

Sendo n_w função da variável de tempo t_w com a sua relação apresentada na figura 2.12. Esta modelação tem em base um betão de peso normal, com condutividade térmica de acordo com a figura 2.11, uma massa específica $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$ e um calor específico $c_c = 1000 \text{ J/kg K}$. O modelo de fogo natural utilizado considera um fator de abertura de $0.04 \text{ m}^{1/2}$ e uma inercia térmica de $1160 \text{ W s}^{1/2}/\text{m K}^2$, cuja fase de aquecimento são praticamente coincidentes com a curva de incêndio padrão ISO834. É ainda considerada uma inercia térmica do betão igual a $1550 \text{ W s}^{1/2}/\text{m K}^2$

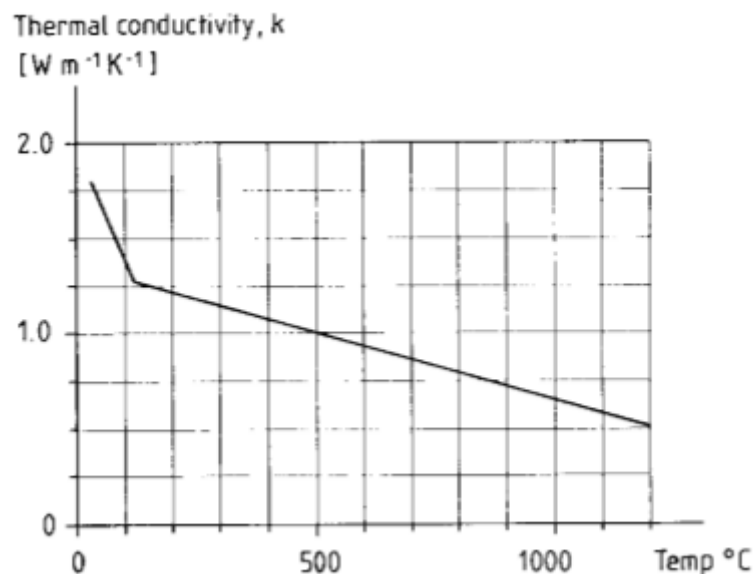


Figura 2.11 – Condutividade térmica do betão em função do aumento da temperatura considerada (Wickström, 1986)

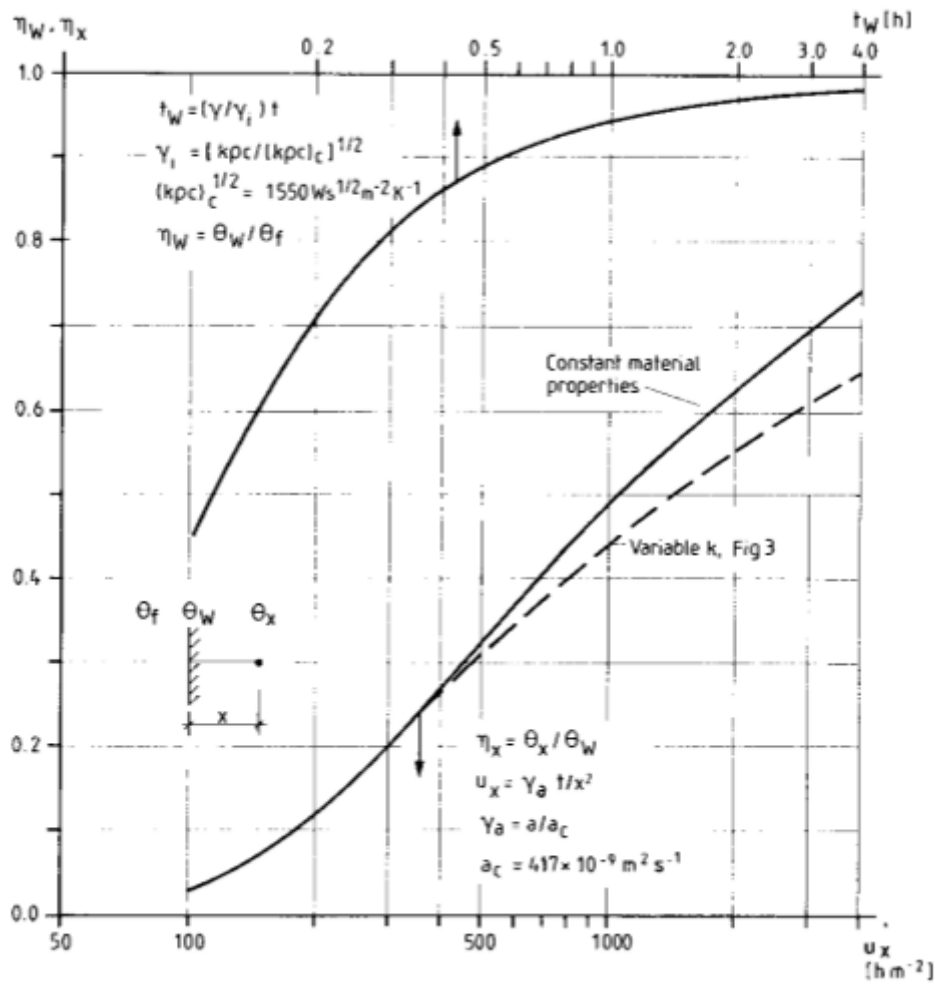


Figura 2.12 – Curva e eixo horizontal superiores: relação entre n_w e t_w ; Curva e eixo horizontal inferiores: relação entre n_x e u_x (Wickström, 1986)

Uma boa aproximação à curva superior apresentada será então:

$$n_w = 1 - 0.0616t_w^{-0.88} \tag{2.27}$$

Em que:

n_w Relação do aumento de temperatura entre a superfície e o incêndio.

t_w Duração do incêndio [h]

O aumento de temperatura num ponto a uma dada distancia pode ser determinado por:

$$\theta_x = n_x \theta_w \tag{2.28}$$

Em que:

- θ_x Temperatura à distancia x [°C]
- n_x Relação do aumento de temperatura entre o ponto e a superfície;
- θ_w Temperatura na superfície [°C]

Como apresentado na curva inferior do gráfico da figura 2.12 a relação n_x pode ser escrita em função da variável u_x :

$$n_x = 0.23 \ln u_x - 1.09 \quad (2.29)$$

Considerando que as propriedades térmicas do material se mantêm constantes ou:

$$n_x = 0.18 \ln u_x - 0.81 \quad (2.30)$$

Para betões com uma condutividade térmica como a apresentada na figura 2.11.

O valor de u_x pode ser determinado com recurso a expressão:

$$u_x = \frac{at}{a_c x^2} \quad (2.31)$$

Em que:

- t tempo considerado [h];
- x distancia do ponto considerado [m];
- a difusividade do betão considerado [m²/s];
- a_c valor de referência para a difusividade do betão = 0.417×10^{-6} [m²/s].

Concluindo, podemos então considerar que o aumento de temperatura num ponto a uma determinada distancia duma superfície exposta a um incêndio é traduzida pela expressão:

$$\theta_x = n_x n_w \theta_f \quad (2.32)$$

Para fluxos de calor uniaxiais, ou

$$\theta_{xy} = (n_w(n_x + n_y - 2n_x n_y) + n_x n_y) \theta_f \quad (2.33)$$

Para fluxos biaxiais, sendo os valores de n_y determinados do mesmo modo que o exposto para n_x .

É possível determinar a profundidade de isotérmicas com a expressão 2.31 tendo então para fluxos uniaxiais:

$$n_x' = \frac{\theta_{iso}}{n_w \cdot \theta_f} \quad (2.34)$$

E tendo para fluxos biaxiais tomando $x = y$:

$$n_x' = \frac{2n_w - \sqrt{(2 \cdot n_w)^2 - 4(2n_w - 1) \cdot \left(\frac{\theta_{iso}}{\theta_f}\right)}}{2(n_w - 1)} \quad (2.35)$$

Em que:

θ_{iso} Temperatura da isotérmica pretendida [°C]

É então possível determinar a profundidade dessa mesma isotérmica utilizando a seguinte expressão:

$$x' = \sqrt{\frac{t}{e^{\left(\frac{n_x + 0.81}{0.18}\right)}}} \quad (2.36)$$

Num cenário de pós incêndio será também de interesse determinar a severidade do mesmo através da profundidade das isotérmicas obtidas por meio de ensaios ou inspeção visual (apresentados no capítulo 3.3 e 3.1.1 respetivamente). Apresentam-se de seguida nas figuras 2.13 a 2.16 as relações entre o tempo na curva incêndio padrão ISO 834 e a profundidade das isotérmicas de 300°C e 500°C para fluxos uni e biaxiais, obtidas através das expressões 2.34 e 2.35 e 2.36.

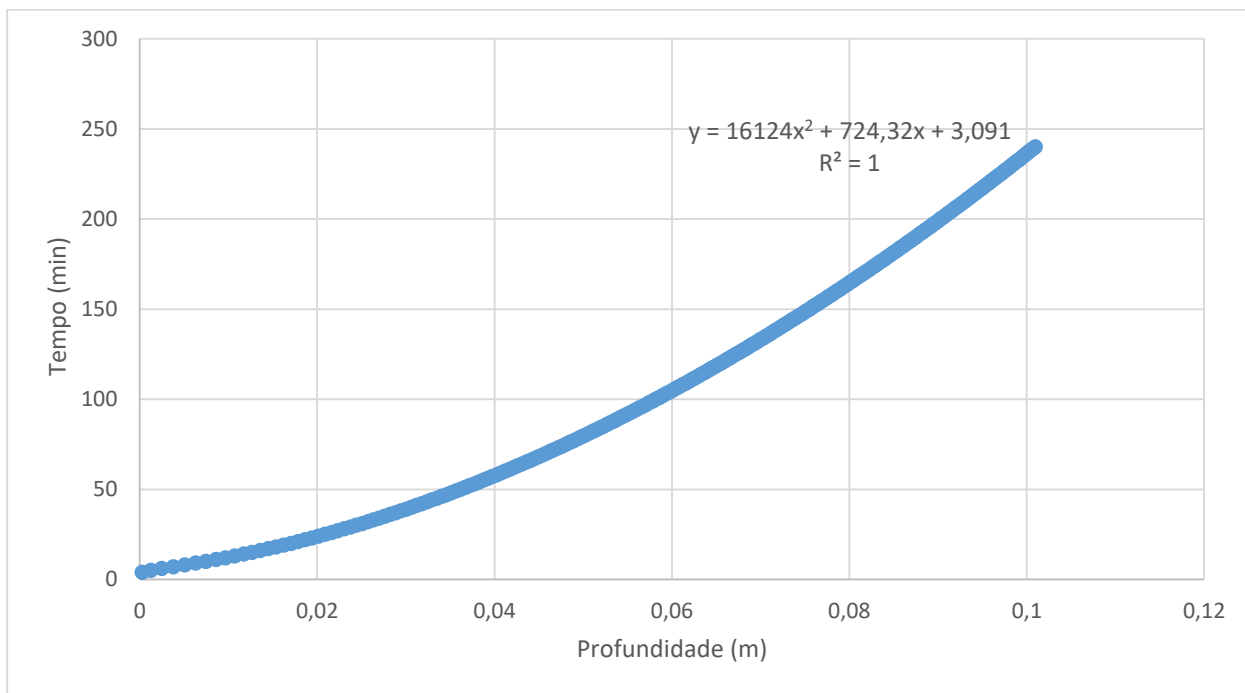


Figura 2.13 – Relação tempo/profundidade para fluxo uniaxial e isotérmica 300°C

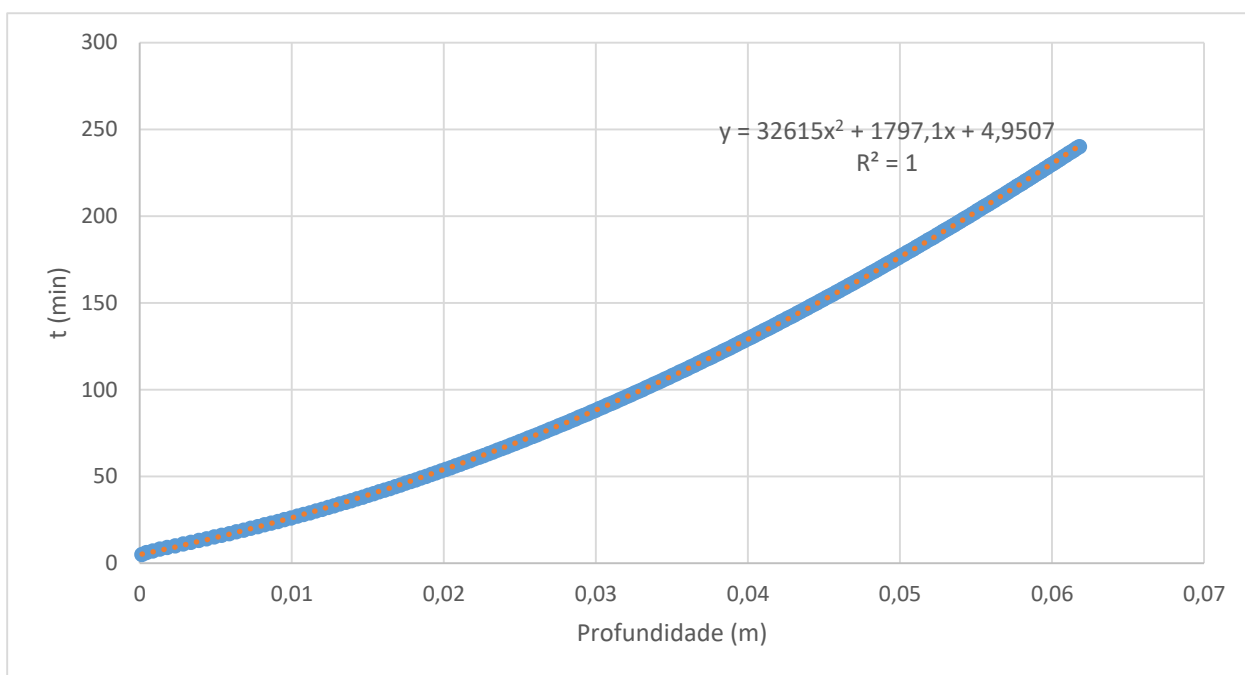


Figura 2.14 – Relação tempo/profundidade para fluxo uniaxial e isotérmica 500°C

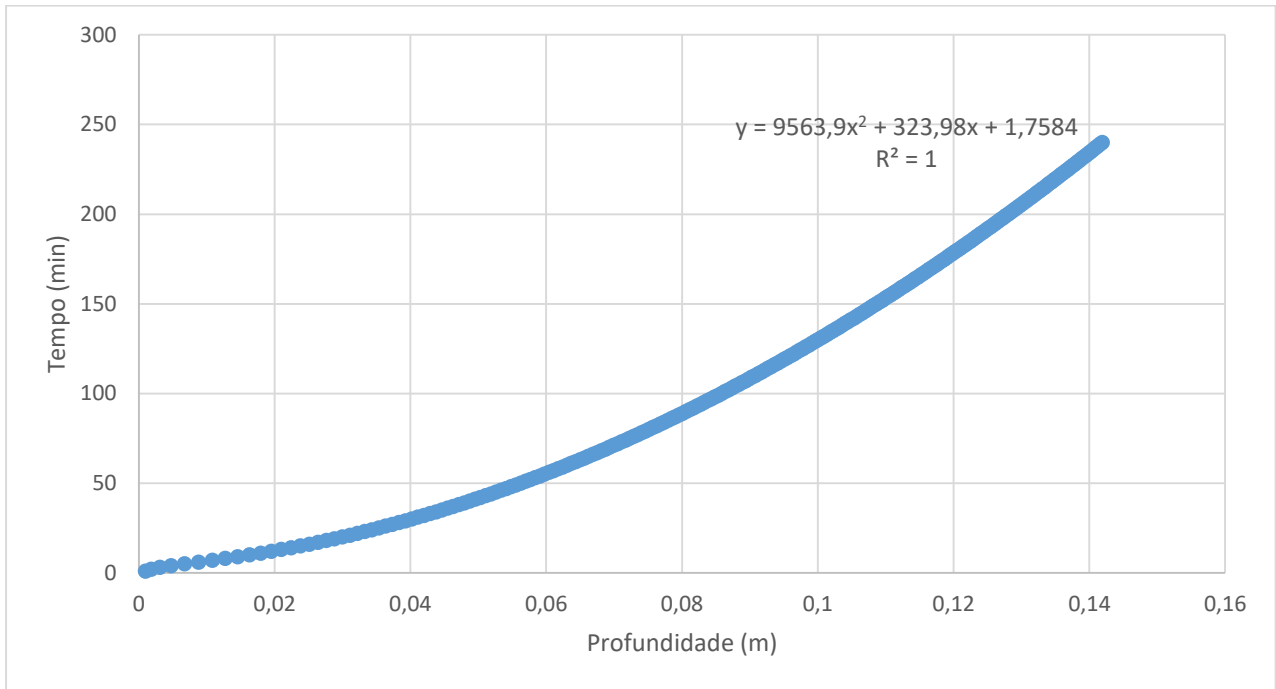


Figura 2.15 – Relação tempo/profundidade para fluxo biaxial e isotérmica 300°C

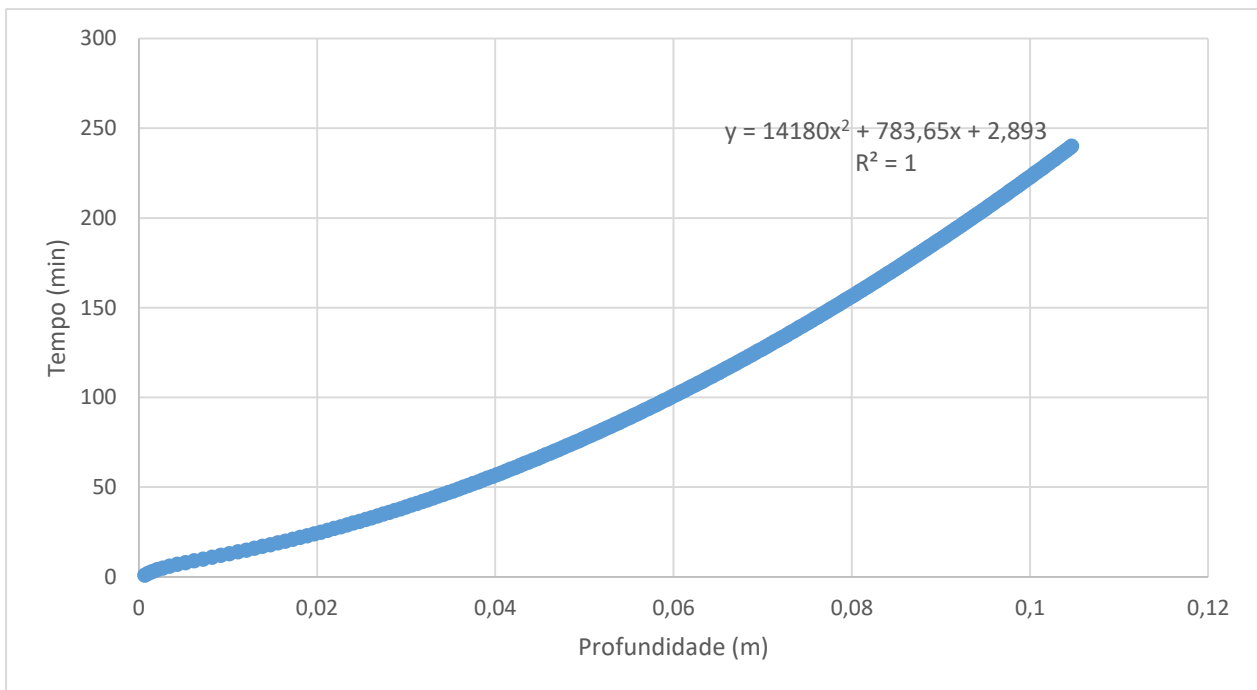


Figura 2.16 – Relação tempo/profundidade para fluxo biaxial e isotérmica 500°C

2.6 PROPRIEDADES TERMOMECÂNICAS DO BETÃO E AÇO

A EN 1992-1-2 apresenta os valores para a redução do valor característico da resistência do betão à compressão e do valor característico da resistência dos aços para betão armado e de pré-esforço. Estes devem ser utilizados com os métodos simplificados apresentados nos capítulo 2.4. No mesmo documento podem também ser consultadas as alterações na extensão térmica, calor específico e condutibilidade térmica do betão.

Estes valores foram obtidos tendo em conta a curva incêndio padrão ISO 834, devendo ser só utilizados para incêndios com uma taxa de aquecimento e fluxo de calor similar até ao instante em que é atingida a temperatura máxima dos gases.

2.6.1 Betão

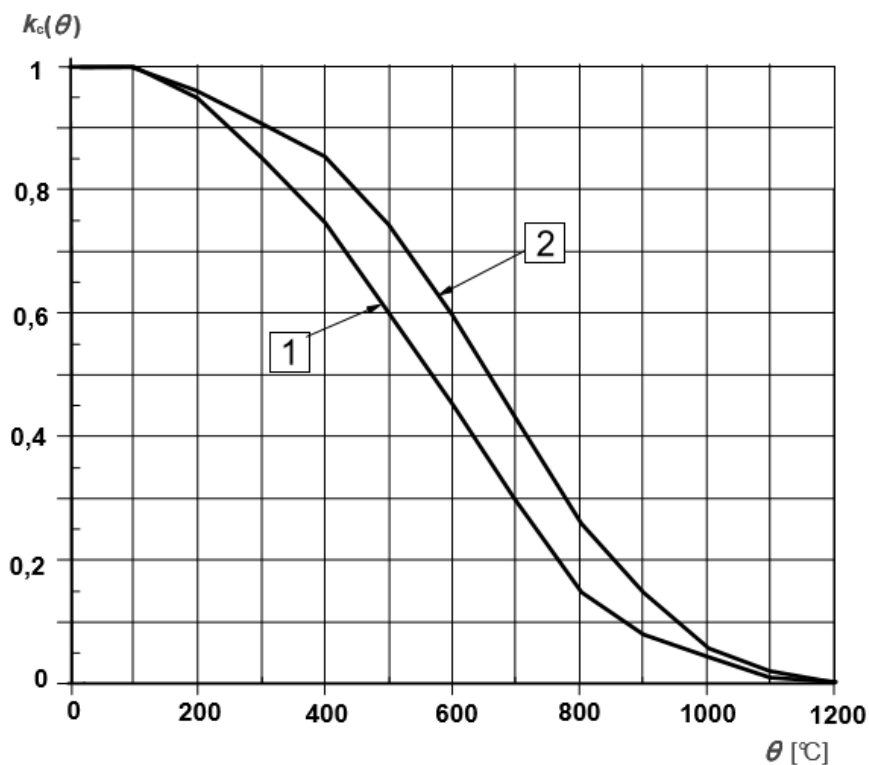


Figura 2.17 – Coeficiente $k_c(\theta)$ de redução do valor característico da resistência do betão (f_{ck})
(EN 1992-1-2)

Em que:

Curva 1 – Betão de massa volúmica normal com agregados siliciosos

Curva 2 – Betão de massa volúmica normal com agregados calcários

2.6.2 Aço

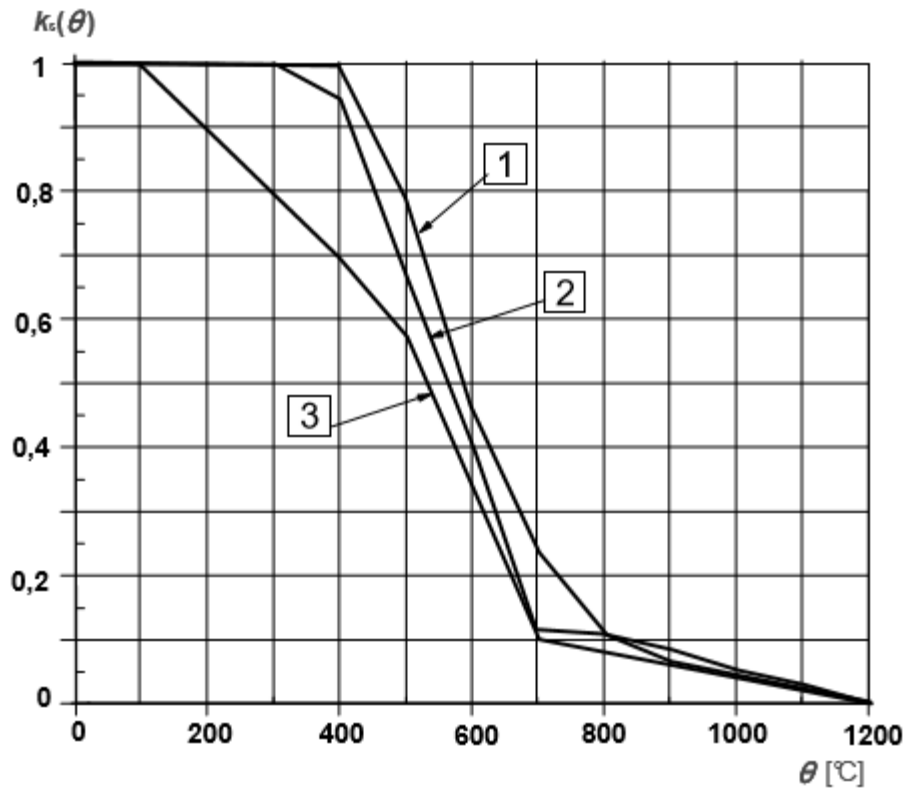


Figura 2.18 – Coeficiente $k_s(\theta)$ de redução do valor característico da resistência (f_{yk}) de armaduras tracionadas ou comprimidas (Classe N) (EN 1992-1-2)

Em que:

Curva 1 – Armaduras tracionadas (aço laminado a quente) para $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

Curva 2 – Armaduras tracionadas (aço endurecido a frio) para $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

Curva 3 – Armaduras comprimidas e tracionadas para $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

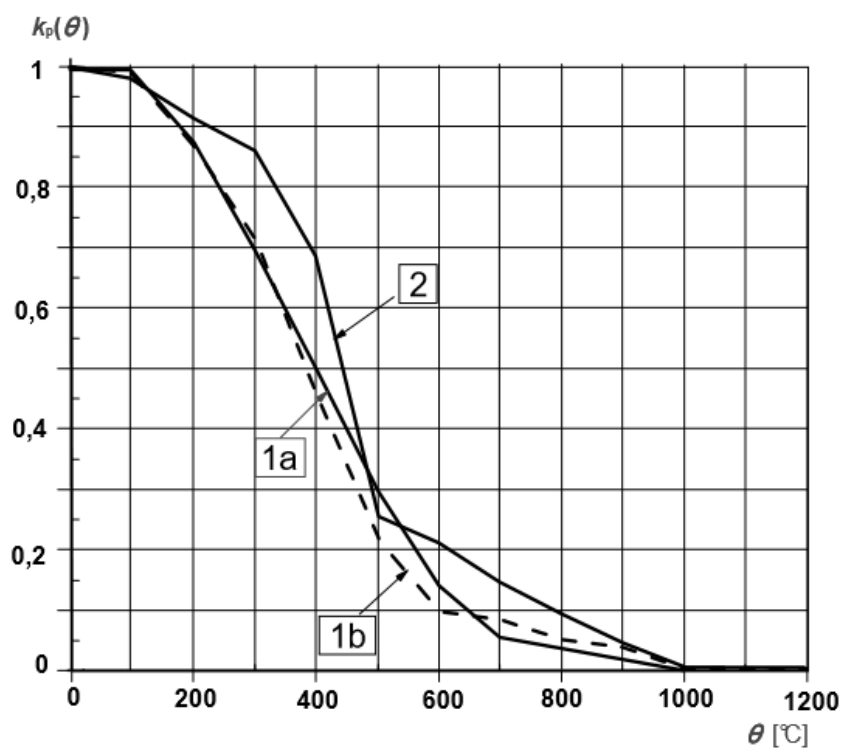


Figura 2.19 – Coeficiente de redução do valor característico da resistência (βf_{pk}) do aço de pré-esforço (EN 1992-1-2)

Em que:

Curva 1a – Aço de pré-esforço endurecido a frio (fios e cordões) Classe A

Curva 1b – Aço de pré-esforço endurecido a frio (fios e cordões) Classe B

Curva 2 – Aço de pré-esforço temperado e revenido (varões)

3 AVALIAÇÃO DA REPARABILIDADE DE ESTRUTURAS DE BETÃO APÓS INCêNDIO

O processo de reparação de uma estrutura de betão após incêndio é um problema complexo. Como demonstrado na figura 3.1, a avaliação da resistência residual da estrutura será o primeiro passo neste processo. Esta avaliação deve ser baseada nas normas europeias EN 1991-1-2 e EN 1992-1-2 com a ressalva que, em certos casos, as metodologias apresentadas nestas últimas podem não ser aplicáveis já que efeitos como o arrefecimento das estruturas, propriedades residuais dos materiais, tensões residuais ou impostas por dilatações restringidas têm de ser consideradas. É importante também que seja realizada mal seja possível entrar na edificação em segurança, preferencialmente antes da retirada dos detritos causados pelo fogo de modo a garantir a recolha do máximo de informação disponível.

O processo de avaliação pode ser subdividido em cinco passos (tabela 3.1). Num primeiro estágio é importante assegurar a segurança, fazendo uma avaliação preliminar dos danos causados pelo incêndio e de eventuais elementos que necessitem de escoramento.

Segue-se uma recolha de informação relevante, desde a consulta dos projetos originais de estabilidade, utilização, levantamento dos danos provocados pelo incêndio, relatos de testemunhas/corpo de bombeiros. Aquando da recolha destes dados pode ser necessário efetuar pequenas intervenções em elementos, limpando a sua superfície de modo a visualizar eventuais alterações no betão. Outro ponto importante será a avaliação do estado atual da estrutura em pontos não afetados de modo a confirmar os dados fornecidos pelos projetos de estabilidade.

Após recolha de informação, é possível determinar quais elementos apenas necessitam de uma intervenção estética e, se necessário, os elementos que necessitam de uma análise mais profunda. Pode ser tomada também a decisão de demolir parte de estrutura caso se apresente num estado não viável de sofrer reparação.

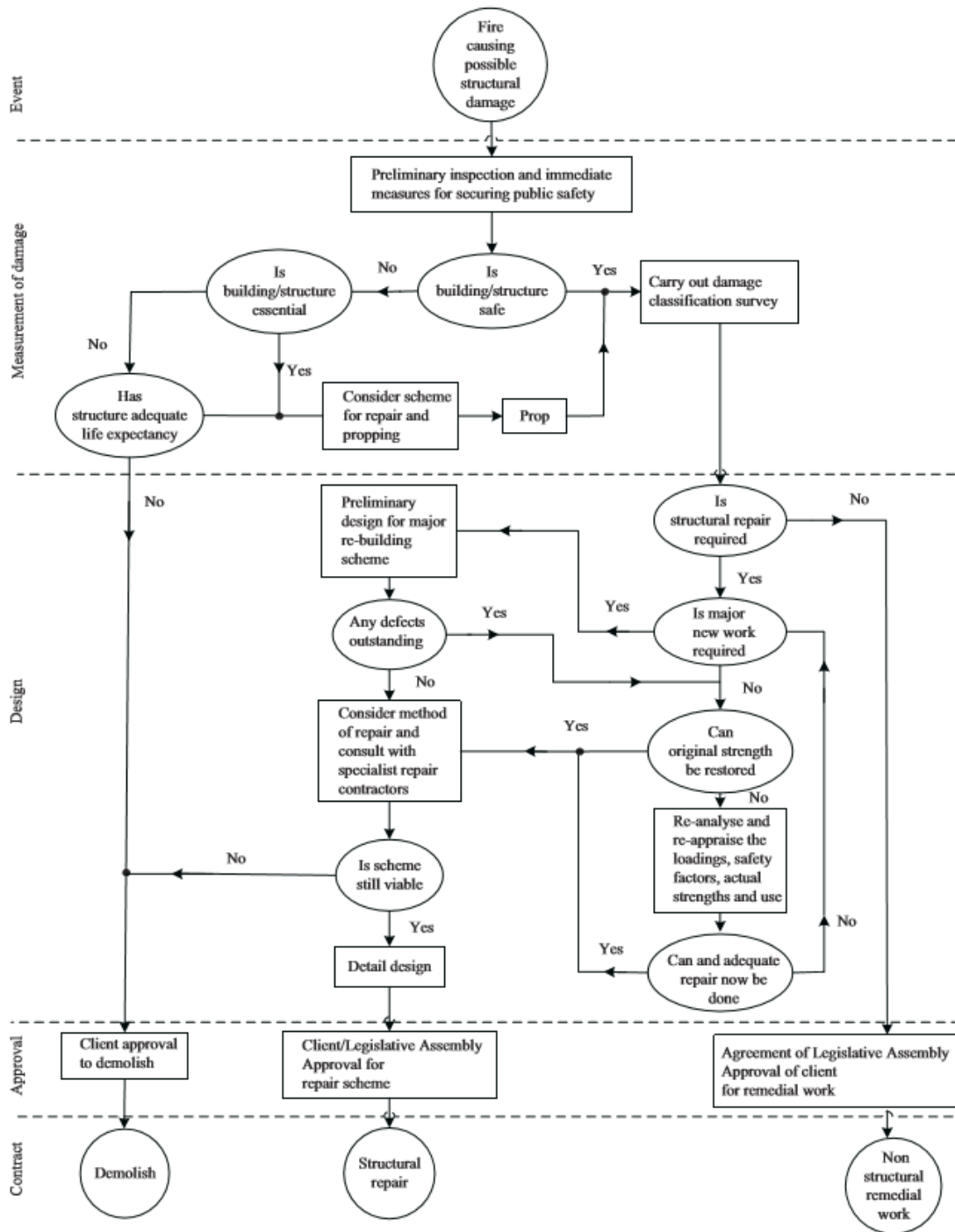


Figura 3.1 – Fluxograma da reparação duma estrutura sujeita a incêndio (CIB W14 report, 1989)

A análise destes elementos irá determinar a sua capacidade resistente sendo então possível determinar a quantidades de material para o elemento voltar a sua resistência atual ou reabilitar de acordo à regulamentação atual caso seja uma edificação antiga.

Por fim, é feita uma seleção dos métodos de reparação a usar, sendo estes projetados e realizados.

Tabela 3.1 – Passos a tomar na reparação duma estrutura sujeita a incêndio (Concrete Society, 2008)

Passo	Ações a tomar
1	Inspeção preliminar, avaliação de elementos a escorar de modo a garantir a segurança
2	Levantamento de informações efetuando pequenas intervenções caso necessário (limpeza de superfícies, remoção de betão). Determinação dos elementos que necessitam apenas de reparações cosméticas ou de análise mais aprofundada.
3	Análise dos elementos mais deteriorados do passo anterior, com recurso a ensaios e/ou modelação térmica.
4	Determinação da resistência residual dos elementos passíveis de sofrerem reparações e dos materiais necessários para reestabelecer as características originais ou melhoramento das mesmas
5	Seleção dos métodos de reparação a aplicar e realização dos trabalhos.

Segundo a Concrete Society (2008), a resistência residual dos elementos relevantes pode ser determinada com recurso a duas metodologias, usadas separadamente ou em conjunto dependendo dos meios, tipo de estrutura e natureza do fogo.

A primeira metodologia consiste na avaliação direta do betão afetado através de observações e ensaios podendo estes ser subdivididos em 3 níveis:

- Inspeção visual;
- Ensaios não/semi destrutivos;
- Retirada de amostras de armadura, realização de carotes e posterior realização de testes em laboratório.

A elaboração de um plano de ensaios a realizar na estrutura, estabelecendo zonas em tetos ou elementos singulares a estudar será essencial para a aplicação desta metodologia. Outro ponto importante será a recolha de amostras sãs em zonas não afetadas como método de controlo para as condições iniciais dos materiais utilizados.

A quantidade e tipo de ensaios irá depender maioritariamente dos meios disponíveis (nomeadamente equipamentos), orçamento, tempo disponível, estado da estrutura etc. Garantias de higiene e segurança

(devido a presença dos detritos produto do incêndio e da realização dos próprios ensaios) têm que ser asseguradas sendo necessário também garantir que a integridade realização dos ensaios não provocará ainda mais danos à estrutura.

A segunda metodologia irá ser baseada na determinação da intensidade do incêndio de modo a deduzir perfis de temperatura e cálculo da resistência residual do betão armado. Esta pode ser subdividida em três passos:

- Avaliação da intensidade do incêndio com base na informação recolhida no local e/ou aplicação de métodos numéricos;
- Determinação dos perfis de temperatura aplicando métodos numéricos ou utilizando métodos simplificados expostos na EN 1992-1-2;
- Determinação da resistência residual do elemento de betão.

Sendo esta metodologia baseada em deduções estas devem, sempre que possível, ter como base observações feitas no local. Recolha de informação como relatos, vídeos, testemunhos ou relatórios de bombeiros permitem realizar um histórico do incêndio e por consequente a sua duração (início, *flashover*, etc.) intensidade e extensão. Através da examinação dos detritos presentes no local é também possível obter informação das temperaturas atingidas no local não sendo estes, no entanto, indicadores diretos do estado dos materiais em estudo.

Outra opção será com base na geometria do local, carga de incêndio, ventilação e revestimentos a aplicação de fórmulas empíricas (como as apresentadas nos capítulos 2.3.1 e 2.3.2.1) ou modelos numéricos (como os expostos no capítulo 2.3.2.2) utilizados no dimensionamento de modo a determinar a severidade do incêndio.

A aplicação de ambas as metodologias irá resultar numa classificação dos danos provocados pelo incêndio que apresentados em desenhos e/ou tabelas refletindo o estado real da estrutura em estudo (apresentada no capítulo 3.4). Esta avaliação terá de conter informação suficiente de modo a ser possível realizar desenhos detalhados com instruções para a realização dos trabalhos de reparação.

Ao longo deste capítulo serão expostos os principais danos causados por incêndio nas estruturas, abordadas as propriedades residuais do betão e do aço, apresentado um método para classificação e apresentação da avaliação realizada tal como uma pequena abordagem aos processos de reparação e reabilitação da estrutura.

3.1 DANOS CAUSADOS POR INCÊNDIOS

3.1.1 Coloração do betão

A cor do betão pode alterar-se com o seu aquecimento, sendo isto aparente com uma inspeção visual. É visível uma coloração vermelha/rosa quando se atingem temperaturas acima dos 300°C resultado da desidratação ou oxidação de componentes de ferro nos agregados. Este facto é importante devido à perda acentuada de resistência a partir desta gama de temperaturas, devendo todas as suas ocorrências consideradas como suspeitas.

Estas observações padecem de ser confirmadas, já que podem ter origem em outras causas (carbonatação da pasta de cimento), ser menos aparentes em diferentes tipos de agregados, ocorrência de baixa concentração de componentes de ferro no agregado ou até mesmo que a cor seja uma característica do próprio material utilizado.

A alteração da cor do betão continua com o aumento de temperatura, observando-se uma mudança para cinzento esbranquiçado na gama dos 600 °C a 900 °C e para um tom amarelado entre os 900 °C e 1000 °C.

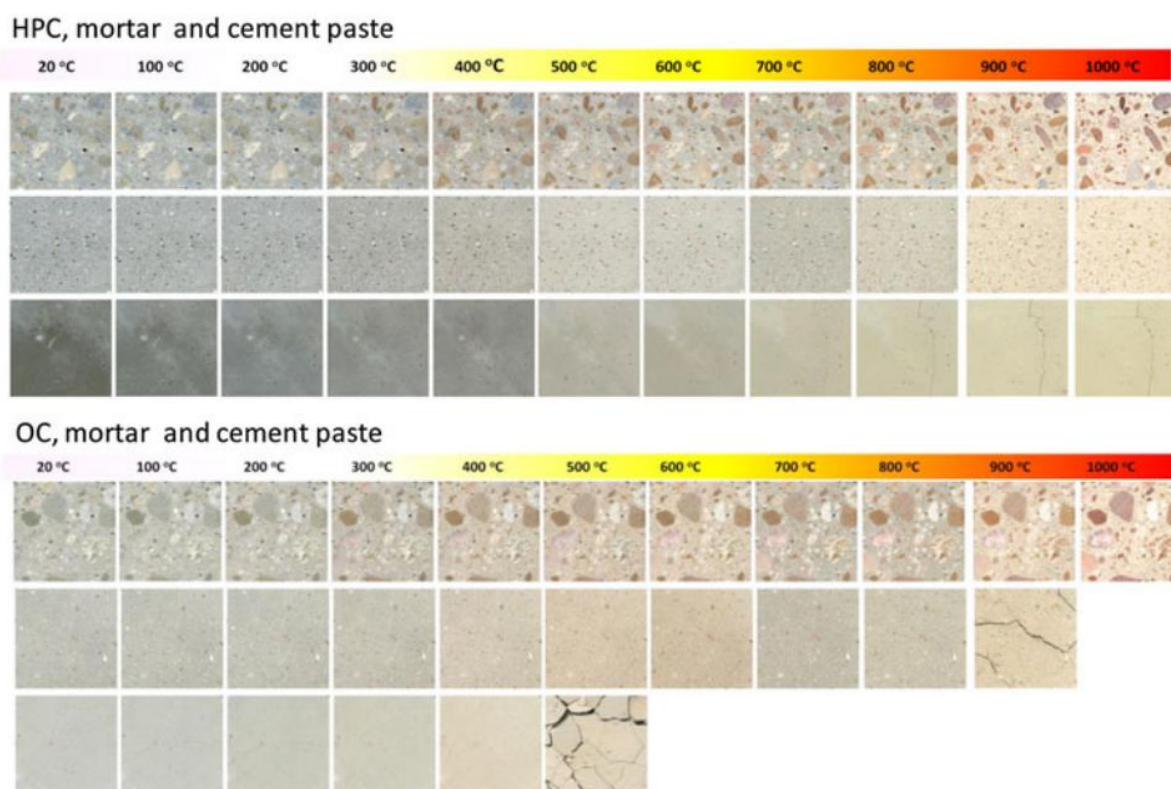


Figura 3.2 – Evolução da coloração em betão corrente (OC) e de alta resistência (HPC), argamassa (mortar) e pasta de cimento (cement paste) aquecidas a temperaturas entre os 100°C e 1000°C.

(Hager, 2013)

3.1.2 Degradação de outros materiais

Como demonstrado na figura 3.3, a observação do estado dos detritos causados pelo incêndio pode dar informações uteis para determinar a historia e características do mesmo. Apresenta-se de seguida uma tabela com as temperaturas aproximadas de degradação de materiais comuns na construção corrente:

Tabela 3.2 – Efeitos da temperatura em diferentes materiais (CIB W14 report, 1989)

Substancia	Exemplo típico	Condições	Temperatura aproximada (°C)
Tinta		Deterioração	100
		Destruição	150
Poliestireno	Contentores de comida de parede fina, espuma, persianas, cruzetas, ganchos, rádios.	Colapso	120
		Amolecimento	120 – 140
		Fusão e escoamento	150 – 180
Polietileno	Malas, filmes, garrafas, baldes, tubos.	Enrugamento	120
		Amolecimento e fusão	120 - 140
Polimetilmetacrílico	Cruzetas, coberturas, claraboias, vidrados.	Amolecimento	130 – 200
		Bolhas	250
PVC	Cabos, tubos, ductos, forros, perfis, cruzetas, puxadores, utensílios domésticos, brinquedos, garrafas.	Degradação	100
		Fumos	150
		Coloração castanha	200
		Carbonização	400 – 500
Celulose	Madeira, papel, algodão.	Escurecimento	200 - 300
Soldaduras de chumbo	Juntas dos tubos de canalização, instalações sanitárias, brinquedos.	Fusão	250
		Fusão com arredondamento de arestas	300 – 350
		Formação de gotas	350 - 400
Zinco	Instalações sanitárias, caleiras, tubos de queda.	Formação de gotas	400
		Fusão	420

Alumínio e ligas de alumínio	Equipamentos, caixas, suportes, pequenas peças mecânicas	Amolecimento	400
		Fusão	600
		Formação de gotas	650
Vidro	Envidraçados, garrafas.	Amolecimento, arredondamento de arestas	500 – 600
		Fácil escoamento, viscoso	800
Prata	Joalheria, serviços de mesa, utensílios de cozinha.	Fusão	900
		Formação de gotas	950
Latão	Fechaduras, torneiras, puxadores, abraçadeiras.	Fusão (particularmente nas arestas)	900 – 1000
		Formação de gotas	900-1000
Bronze	Janelas, campainhas de porta, ornamentação.	Arredondamento de arestas	900
		Formação de gotas	900-1000
Cobre	Fios elétricos, cabos, ornamentos.	Fusão	1000 - 1100
Ferro fundido	Radiadores, tubos.	Fusão	1100 – 1200
		Formação de gotas	1150 - 1250



Figura 3.3 – Exemplo de fusão e formação de gotas de perfis de alumínio, indicadores de temperaturas acima de 650°C (Concrete Society, 2008)

Outro possível indicador da duração e severidade do incêndio pode ser dada observando a taxa de carbonização de elementos de madeira que ficaram expostos ao fogo. Segundo a EN 1995-1-2 a relação entre a profundidade de carbonização e o tempo na curva incêndio padrão será:

$$d_{char,o} = \beta_0 \cdot t \quad (3.1)$$

para exposição em apenas em uma face e,

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (3.2)$$

para várias faces, com os parâmetros β_0 e β_n iguais aos apresentados na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Taxas de carbonização β_0 e β_n para vários tipos de madeira (EN 1995-1-2, 2004)

Tipos de Madeira	β_0	β_n
Coníferas e Faia		
Lamelada colada $\rho \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.70
Madeira maciça $\rho \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.80
Folhosas		
Maciça ou lamelada colada $\rho \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.70
Maciça ou lamelada colada $\rho \geq 450 \text{ kg/m}^3$	0.50	0.55
Madeira micro lamelada colada $\rho \geq 480 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.7
Painéis		
Madeira	0.9 ^a	
Contraplacado	1.0 ^a	
Baseados em madeira, que não sejam contraplacado	0.9 ^a	
^a Valores aplicam-se para $\rho \geq 450 \text{ kg/m}^3$ e espessuras de 20 mm; verificar ponto 3.4.2(9) da EN 1995-1-2 para outras densidades e espessuras.		

3.1.3 Fissuração e *spalling*

A altas temperaturas a expansão térmica do aço das armaduras é superior à grande maioria dos betões utilizados correntemente levando a tensões interiores e provocando fissurações em elementos muito armados. Estas fissurações normalmente encontram-se concentradas em pontos onde estas já existiam previamente devido a retrações durante a cura, cargas derivadas de esforços de flexão etc. Algumas das causas para a ocorrência de fissuras na superfície do betão (figura 3.4) apresentam-se incompatibilidades térmicas entre a pasta de cimento e os agregados ou o arrefecimento provocado pela água utilizada no processo de extinção do incêndio.



Figura 3.4 – Exemplo de fissuração na face inferior duma laje devido a expansões térmicas.

(Concrete Society, 2008)

O fenómeno de *spalling* consiste no destacamento de camadas ou partes de betão devido à exposição a rápidas subidas de temperatura. Devido à potencial exposição direta das armaduras ao incêndio este fenómeno terá uma grande relevância não só na resistência residual, mas também na própria segurança de uma estrutura ao fogo.

Este fenómeno é produto de dois processos: um termomecânico devido às dilatações térmicas que ocorrem no interior do elemento de betão e um outro hidrotérmico relacionado com a transferência de massa na rede porosa do betão (figura 3.5).

O processo termomecânico está associado à gama de temperaturas a que o betão está submetido já que os aumentos de temperaturas geram maiores dilatações provocando tensões de tensão perpendiculares à face aquecida. Existem também incompatibilidades de tensões entre a pasta de cimento e os agregados devido à dilatação dos agregados até à sua desagregação química em comparação à diminuição de volume da pasta de cimento com a degradação química (por volta dos 180°C) e a perda de água.

O processo hidrotérmico como referido anteriormente está relacionado com a transferência de massa. Com o aumento de temperatura, parte da água livre e quimicamente ligada evapora levando a criação de pressões na rede porosa do betão o que leva a esta transferência de massa. Parte dos gases e vapor de água saem para o exterior pela face aquecida, migrando outra parte para o interior do elemento onde condensam formando uma banda semi-saturada. Com este processo forma-se uma camada desidratada junto à face aquecida, uma em processo de secagem e a banda semi-saturada que forma uma barreira impermeável que não permite a passagem de gases onde irão ocorrer então os picos de pressão. Este processo é mais rápido o quão menos permeável for o material, formando-se também mais perto da zona aquecida a zona semi-saturada gerando-se também pressões maiores (Kalifa et al., 1999).

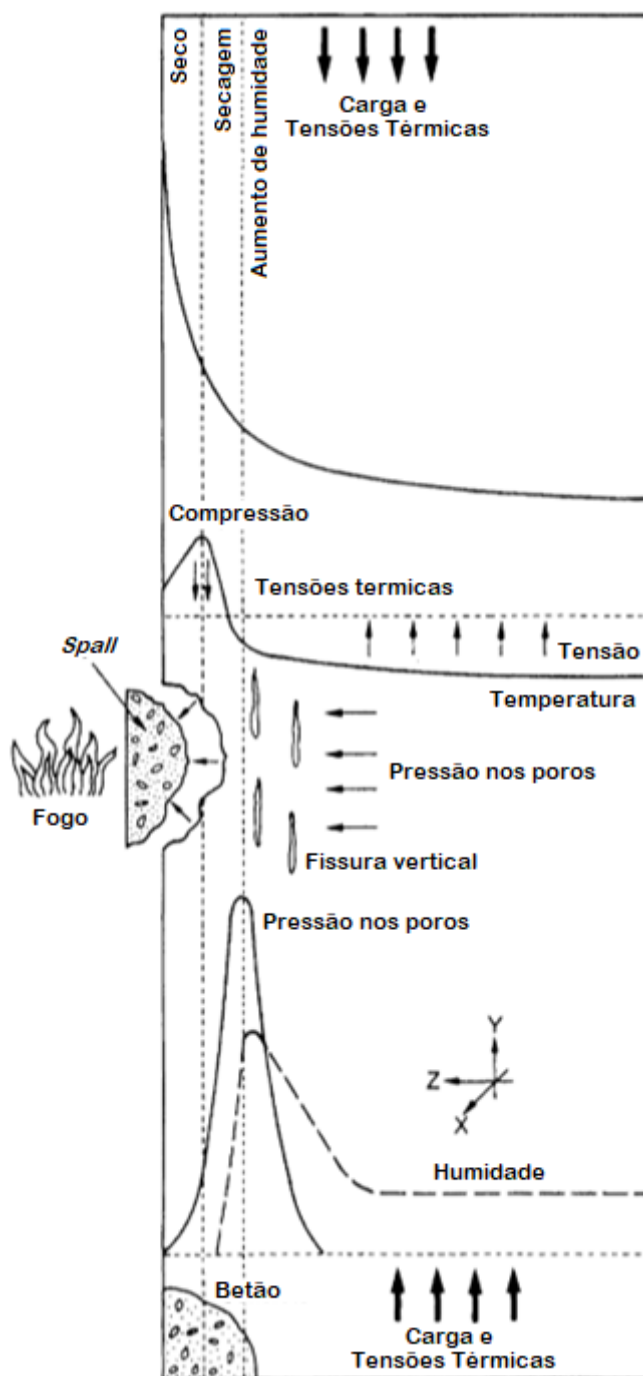


Figura 3.5 – *Spalling* explosivo devido a tensões térmicas e pressão nos poros (Khoury, 2008)

Podem-se identificar seis tipos de *spalling*:

- Explosivo: ocorre na fase inicial do incêndio, separando-se violentamente grandes pedaços da superfície do elemento de betão (figura 3.6);
- De agregados: causado devido à expansão e decomposição dos agregados na superfície dos elementos de betão resultando na sua separação;

- De superfície: similar aos anteriores, separando-se pedaços da superfície do elemento;
- Esfoliação: queda de pequenos pedaços de betão da superfície normalmente devido a transformações físico-químicas devido à exposição a altas temperaturas;
- Localizado: queda de pedaços em arestas de pilares e vigas devido à formação de fissuras em locais mais frágeis como a interface betão/armadura (figura 3.7);
- Pós arrefecimento: provocado devido as tensões provocadas pelo arrefecimento diferencial dos vários materiais constituintes do betão armado.

Esta classificação é possível de ser feita de outro modo já que não existem diferenças claras entre algumas delas podendo ocorrer num incêndio todos os casos descritos sendo difícil a sua identificação individual. É relevante referir que os três primeiros casos normalmente ocorrem nas fases iniciais do incêndio e os últimos três mais tarde. Isto será uma informação importante porque os riscos para a estrutura em caso de *spalling* serão grandes devido à potencial exposição das armaduras ao fogo comprometendo a integridade da estrutura.



Figura 3.6 – Exemplo de *spalling* explosivo (Concrete Society, 2008)



Figura 3.7 – Exemplo de *spalling* localizado (Concrete Society, 2008)

Spalling pode também ocorrer devido a oxidação de armaduras (que com a sua expansão em volume exercem tensões de tração no betão) ou devido à deterioração por exposição a altas temperaturas de materiais colocados no betão além de armaduras (ex: espaçadores de armaduras como demonstrado na figura 3.8).



Figura 3.8 – Exemplo de *spalling* na face inferior de uma laje devido à deterioração por exposição a altas temperaturas de espaçadores em plástico (Concrete Society, 2008).

Devido as suas características os betões de alta resistência são mais suscetíveis à ocorrência deste fenómeno (baixa porosidade devido a pequena relação água/cimento e utilização de sílica de fumo) logo, um conhecimento dos materiais e pormenores construtivos dos elementos serão dados importantes para avaliar a causa e impacto dos danos detetados.

3.1.4 Deformação de elementos

Durante um incêndio, com o efeito da temperatura nos materiais constituintes do betão armado, os elementos sofrem deformações. Estas ocorrem em diferentes locais e por diferentes razões como deformações de pilares (principalmente de canto) devido a expansões térmicas, aumento da flecha de lajes ou ocorrência de fenómenos de encurvadura em pilares devido à diminuição do modulo de Young dos materiais ou deformação de lajes devido a diferentes temperaturas ao longo do seu desenvolvimento. Estas deformações não são completamente recuperadas após a extinção do fogo (Chana e Price, 2003), devendo, portanto, ser anotadas e estudadas pois podem afetar a possibilidade de utilização da estrutura no futuro. Estas consequências podem ir desde a existência de esforços extra devido a desalinhamentos de pilares a deformações excessivas de lajes não respeitando o plano de arquitetura original.

3.1.5 Deformação de armaduras

Como demonstrado na figura 3.9, durante um incêndio com a perda de recobrimento devido a fenómenos de *spalling* ou outras causas, as armaduras dos elementos podem ficar expostas. Isto pode ocorrer durante a fase de aquecimento ou arrefecimento sendo a primeira hipótese mais gravosa devido à potencial exposição direta das armaduras a altas temperaturas.



Figura 3.9 – Exemplo de deformação de armaduras (Concrete Society, 2008)

Quando este fenómeno ocorre em pilares, o varão exposto da armadura entre dois estribos atua como uma barra à compressão devido às restrições impostas pelo betão, sofrendo então encurvadura e reduzindo a sua capacidade resistente (figura 3.10). Um método para determinar a influência deste fenómeno (k_{st}) é proposto por Jiang et al. (2011):

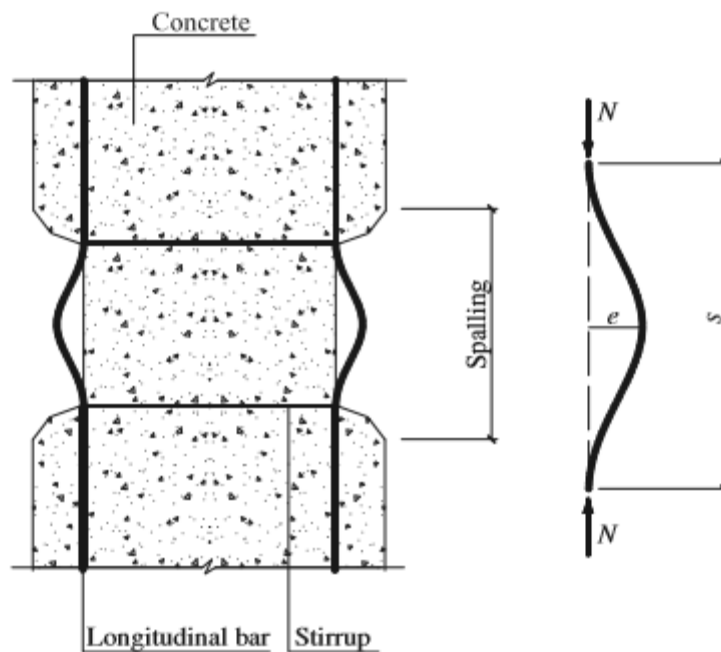


Figura 3.10 – Encurvadura de armaduras expostas (Kodur et al., 2013)

$$k_{st} = \left(1.136 - 111.6 \frac{e}{s} \right) \times \left(0.972 + 0.004 \frac{s}{d_s} - 0.003 \left(\frac{s}{d_s} \right)^2 \right) \quad (3.3)$$

Em que:

- k_{st} Coeficiente de redução devido a encurvadura
- e Deformação devido à encurvadura
- s Espaçamento entre estribos
- d_s Diâmetro dos varões

3.1.6 Ataque por cloretos

A combustão de plásticos (como o PVC) provocam a libertação de cloretos os quais penetram os elementos de betão. Este fenómeno, conforme a profundidade de penetração, leva à oxidação das armaduras comprometendo a sua integridade e do betão em seu redor (devido ao aumento de volume). A inexistência de sinais visíveis destes danos e o seu potencial grande efeito na estabilidade da estrutura levam a que, sempre que haja suspeitas, seja recomendado a realização de testes para confirmar a profundidade de penetração por cloretos.

3.2 PROPRIEDADES RESIDUAIS DOS MATERIAIS

Como já referido na EN 1992-1-2 são apresentados valores de redução em função da temperatura para as propriedades termomecânicas do aço e do betão. Porém estes valores não tomam em conta a fase de arrefecimento, eventuais recuperações ou perdas adicionais de características por parte dos materiais e a influência de vários fatores como por exemplo a fluência transiente (Franssen, 2004). Apresentam-se então neste capítulo, como alternativa, um resumo dos valores característicos para a resistência residual à compressão do betão e resistência residual do aço obtidos por vários autores com recurso à via experimental. São também apresentadas as alterações mineralógicas sofridas pelo betão devido ao aumento de temperatura.

3.2.1 Betão

O betão é visto como um material com bom comportamento em caso de incêndio visto ser incombustível, mau condutor do calor e não produzir fumo, gases tóxicos ou partículas geradoras de novos pontos de incêndio. Sendo um material heterogéneo composto por água, pasta de cimento e agregados leva a que as suas reações a temperaturas elevadas sejam complexas, envolvendo alterações químicas e físicas que contribuem para a degradação das suas propriedades (tabela 3.4). O conhecimento destas alterações será importante não só para uma compreensão dos fenómenos que ocorrem (fissuração e *spalling*) e do comportamento do betão após incêndio, mas também porque permitem a determinação das temperaturas atingidas correlacionando as alterações com as correspondentes gamas de temperatura em que estas ocorrem.

Tabela 3.4 – Alterações mineralógicas do betão causadas por aquecimento (Santos, 2012 e Concrete Society, 2008)

Temperatura	Alterações devido à temperatura	
	Alterações Mineralógicas	Alterações de resistência
70-80°C	Dissociação da estringite, causando o seu desaparecimento da matriz de cimento.	Pouca perda de resistência (<10%)
105°C	Início da perda da água livre, causando um aumento na porosidade capilar e microfissurações.	
120-180°C	Decomposição da gipsita (gesso) causando o seu desaparecimento da matriz de cimento. Início da desidratação do gel CSH.	
250-350°C	Coloração rosa/vermelha do agregado causada por decomposição e oxidação dos elementos de ferro ($\approx 300^\circ\text{C}$) Perda da água presente na matriz de cimento.	Perdas significativas de resistência iniciam se aos 300°C
450-500 °C	Decomposição da portlandite.	
573°C	Mudança da matriz do quartzo α para β o que leva um aumento de volume do mesmo provocando fissuração radial à volta dos grãos de quartzo nos agregados.	
600-800°C	Decomposição do carbonato de cálcio Segunda fase da decomposição do gel CSH	
800-1200°C	Completa desintegração dos elementos calcários dos agregados e da matriz de cimento.	
1200°C		
1300-1400°C		Betão fundido.

A problemática da resistência residual do betão não é recente, tendo sido alvos de estudos desde os anos sessenta. Com a ocorrência de incidentes graves como o incêndio no Eurotúnel em 1996 a relevância destes estudos aumentou, tanto para betão corrente como para o de alta resistência. Segundo Santos (2012), fib (2008) e a Concrete Society (2008) pode-se afirmar que a resistência residual do betão é governada pelos seguintes fatores:

- Temperatura máxima atingida;
- Tipo de cimento;
- Duração da exposição ao incêndio;
- Proporções da mistura;
- Carga durante a fase de aquecimento;
- Tipo de arrefecimento.

É possível também observar nas mesmas publicações que os resultados obtidos para a resistência à compressão residual do betão por diversos autores apresentam uma grande variabilidade. No entanto na generalidade dos resultados obtidos (sendo alguns apresentados na figura 3.11), verifica-se que até aos 300°C o betão sofre uma baixa redução na sua tensão residual de rotura à compressão, sendo esta mais acentuada a partir dos 500°C. As perdas apresentadas pelos betões de alta resistência são mais elevadas neste mesmo intervalo de temperaturas, sendo as perdas após os 400-500°C semelhantes entre os dois tipos. Isto explica-se devido à baixa permeabilidade dos betões de alta resistência que levando a fenómenos de *spalling* como já referido (capítulo 3.1.3).

Observam-se também perdas maiores quando os elementos de betão são sujeitos a um arrefecimento brusco em oposição a um arrefecimento lento. Isto prende-se com o facto de o choque térmico provocar fissurações no betão diminuindo a sua resistência. Observa-se, no entanto, que a influência do tipo de arrefecimento a que o betão foi sujeito diminui o quão maior as temperaturas atingidas não havendo diferenças entres os dois sensivelmente a partir dos 550°C (Rodrigues, 1994).

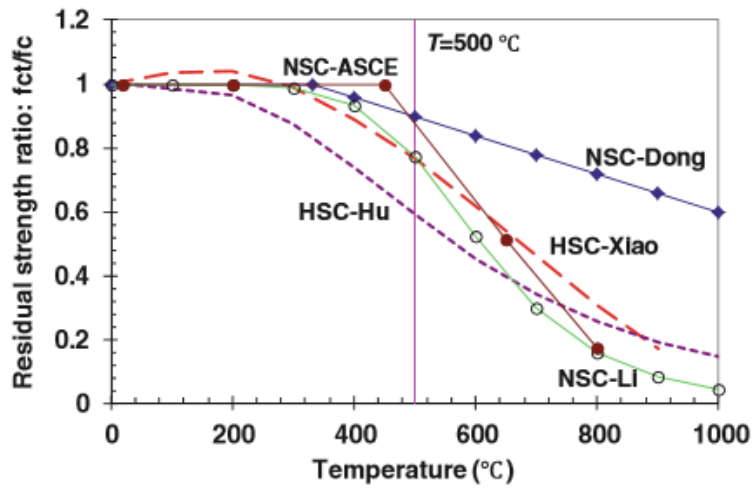


Figura 3.11 – Evolução da resistência residual à compressão de betões normais e de alta resistência por obtidos por vários autores (Kodur et al. 2013)

Tendo em isto em conta apresentam-se então três abordagens possíveis:

- Utilização do método da isotérmica 500°C (capítulo 2.4.1) como proposto por Kodur et al. (2013);
- Tendo em conta as baixas perdas observadas até aos 300°C, adaptação do método anterior considerando, no entanto, a isotérmica 300°C (Rodrigues, 2012);
- Consideração da continua desintegração da microestrutura do betão durante o período de arrefecimento (Hertz, 2005) utilizando uma abordagem mais conservadora apresentada na figura 3.8.

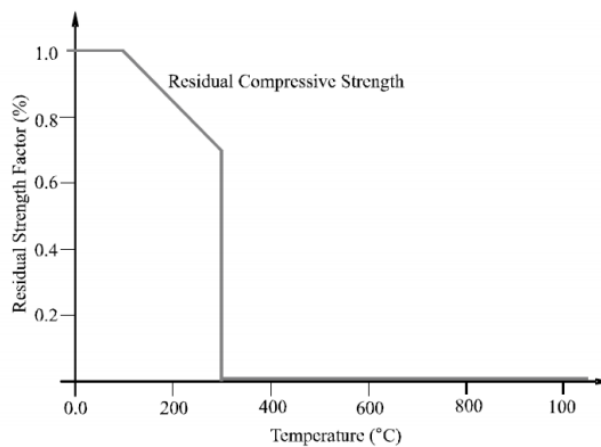


Figura 3.12 – Resistência residual à compressão em função da temperatura proposta pela Concrete Society (2008)

Caso o betão em estudo seja de alta resistência pode ser admitido um coeficiente adicional de redução de 0.9 como previsto na EN 1992-1-2 (Kodur, 2013).

De salientar a existência de estudos como os realizados por Poon et al. (2001) que demonstram uma recuperação da resistência original quando sujeitos a nova cura. Isto ocorre devido à reidratação do gel CSH. Estes aumentos de resistência só devem ser considerados caso sejam devidamente comprovados por ensaios de modo a garantir a segurança.

3.2.2 Aço

O comportamento do betão como “isolante” térmico protege o aço de efeitos relacionados com o aumento de temperatura. No entanto no caso de ocorrência de fenómenos como *spalling* ou por transferência de calor o aço pode ser afetado, sendo necessário determinar a suas propriedades já que estas acabam por ter um peso determinante na resistência residual de um elemento (Kodur, 2015). Os efeitos de exposição a temperaturas elevadas e subsequente arrefecimento na resistência do aço têm sido alvo de estudos como os realizados por vários autores (fib bulletin 46, 2008) (Concrete Society, 2008), tendo sido determinado que, apesar do aço sofrer grandes perdas de resistência com o aumento da temperatura (responsáveis pelas deformações residuais excessivas), com o arrefecimento do mesmo a sua resistência é recuperada praticamente na totalidade quando as temperaturas máximas atingidas são de 400°C para aços rolados a frio e 600 °C para aços rolados a quente. Com base nos estudos de Neves et al (1996), pode-se admitir que a resistência residual de aços rolados a quente será igual à da temperatura ambiente caso a temperatura máxima não exceda os 500 °C sofrendo então depois alterações como exposto na figura 3.4.

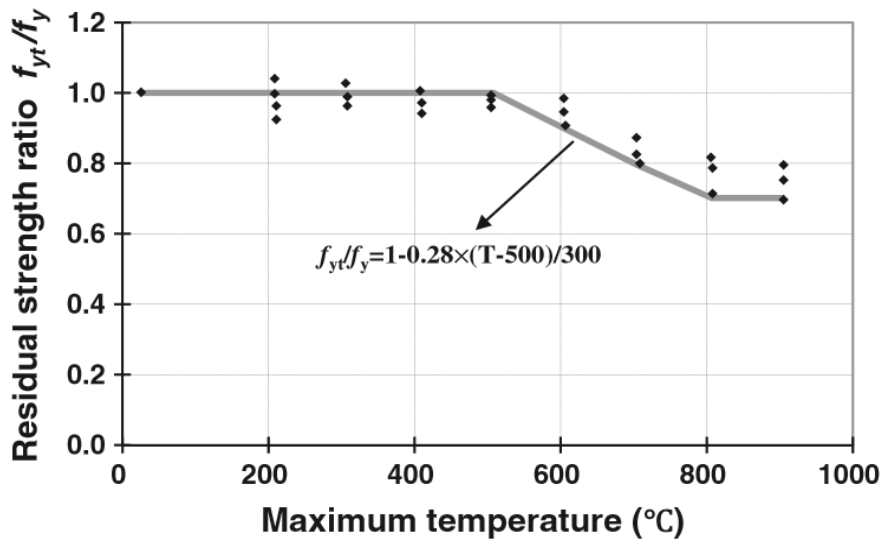


Figura 3.13 – Variação da resistência residual do aço em função da máxima temperatura atingida proposta por Cabrita Neves et al. (1996)

Outro fator a ter em conta será o endurecimento causado pelo ciclo aquecimento-arrefecimento e o seu efeito na extensão do aço. Este aumento de resistência k_{sh} (figura 3.14) deve ser considerado caso existam dados concretos derivados de ensaios caso contrário, devido à falta de informação sobre este fenómeno, deve-se assumir de forma conservadora $k_{sh} = 1$.

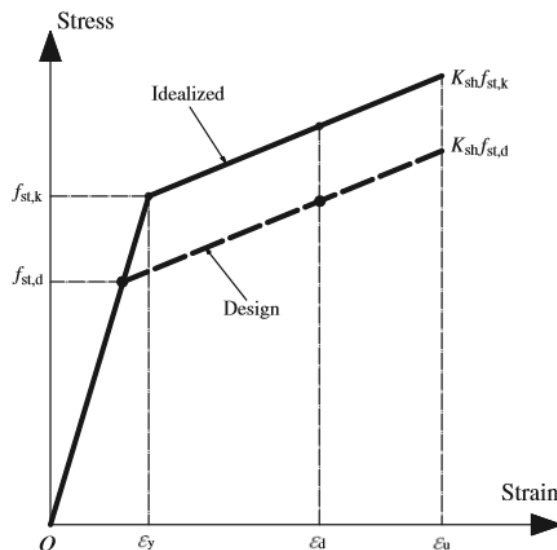


Figura 3.14 – Efeito do endurecimento na resistência do aço (Kodur et al., 2013)

Como demonstrado na figura 3.15, em elementos pré-esforçados os efeitos da temperatura têm um maior peso no valor final da resistência residual. Isto é justificado por diminuições do módulo de Young

do betão, relaxações provocadas devido à fluência e variações não recuperáveis das extensões (Concrete Society, 2008). Numa perspetiva de reabilitação o fator mais importante será o efeito da temperatura na tensão do aço utilizado nos cordões sendo este muito mais suscetível a perdas como demonstrado na figura 3.6.

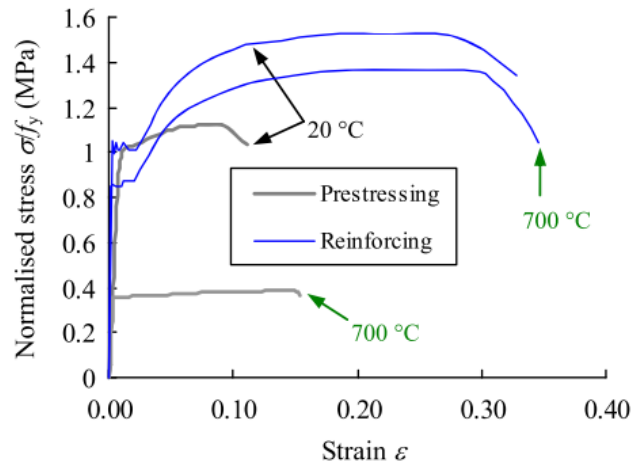


Figura 3.15 – Curvas tensão-extensão após aquecimento até 700°C e arrefecimento até temperatura ambiente (Fellicetti e Gambarova, 2011)

Apresentam-se valores de redução para a resistência residual para o aço utilizado em pré-esforço na figura 3.16. Tao (2015) propõe também métodos para a elaboração das curvas tensão-extensão após aquecimento e arrefecimento.

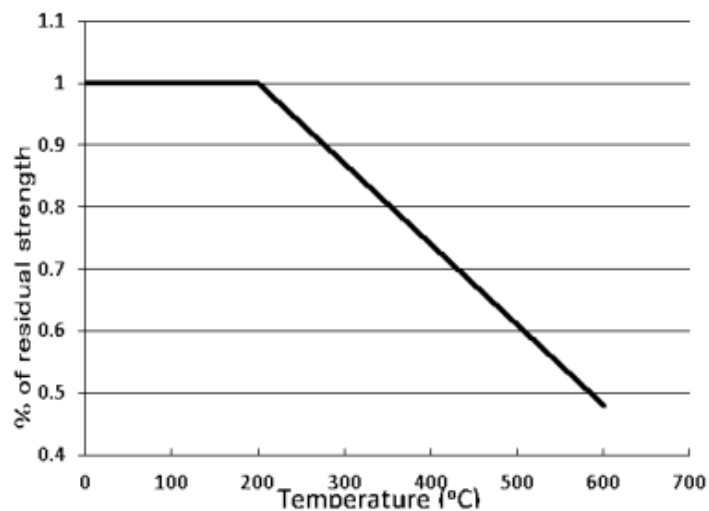


Figura 3.16 – Resistência residual recomendada para aço utilizado em pré-esforço (Concrete Society 2008)

3.3 ENSAIOS PARA BETÃO ARMADO APÓS INCÊNDIO

Existem vários métodos de ensaio, *in-situ* ou em laboratório, que ajudam na avaliação do estado do betão armado. A escolha dos ensaios a utilizar irá largamente depender dos meios disponíveis, orçamento e o estado da estrutura após o incêndio. A seriação inicial das zonas a estudar mais aprofundadamente pode ser feita através de inspeção visual, do som emitido pelas secções quando atingidas por um martelo (sendo mais abafado quando o betão está danificado) ou observando a coloração do betão, retirando-se camadas com recurso a martelo e cinzel se necessário.

Dispersões nos resultados obtidos através de um só tipo de ensaios são espectáveis. Isto deve-se a erros na sua realização e à variação das propriedades dos materiais para diferentes zonas e profundidades. De modo a ser possível caracterizar as propriedades residuais, é então aconselhado o recurso a várias técnicas como as apresentadas neste capítulo de forma a ser possível obter-se um valor médio.

3.3.1 “Rebound test”

Neste ensaio mede-se fundamentalmente a dureza superficial do betão, relacionando-a com a sua resistência à compressão. Embora esta relação não seja direta, pode estabelecer-se uma relação empírica entre ambas através dum gráfico que acompanha o equipamento (figura 3.17). Devido a necessidade de uma superfície relativamente plana e que não apresente grandes irregularidades este teste não será o mais indicado em casos com *spalling*, podendo isto ser combatido com uma regularização prévia da superfície.



Figura 3.17 – Martelo de Schmidt (Rodrigues, 2012)

Tendo em conta a variabilidade dos resultados obtidos (devido à diferença de propriedades que existem em zonas diferentes devido à ação do incêndio ou outras causas) devem ser realizadas várias leituras estando o método exposto na EN 12504-2.

3.3.2 Ultra-som

Neste ensaio, com recurso a ondas ultrassónicas e medindo a sua velocidade de propagação através do betão, é possível determinar a sua resistência à compressão e módulo de elasticidade residual. Apesar de ser possível realizar uma estimativa da resistência através de correlações (betão mais denso leva a velocidades de propagação mais elevadas) a sua melhor utilização será na comparação entre zonas afetadas e sãs. Este teste também necessita de uma superfície relativamente plana dando valores bastante razoáveis quando utilizado em lajes. O método de ensaio é apresentado na EN 12504-4.

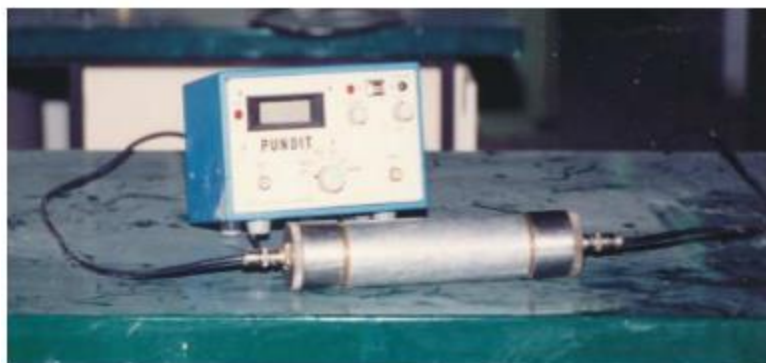


Figura 3.18 – Equipamento para ensaio de ultrassons “PUNDIT” (Rodrigues, 2012)

3.3.3 Análises petrográficas

A análise petrográfica consiste, num primeiro nível, na análise visual e com recurso a microscópios de amostras de betão, sendo estas depois preparadas (realizando-se laminas delgadas do material em estudo) para serem sujeitas a uma análise mais detalhada com recurso a microscópios mais poderosos. Esta análise oferece bastante informação e de forma detalhada sobre as características e estado do betão em estudo, como variações na coloração (como demonstrado na figura 3.19) e dos vários fenómenos físico-químicos sofridos durante o aquecimento já referidos na tabela 3.3.

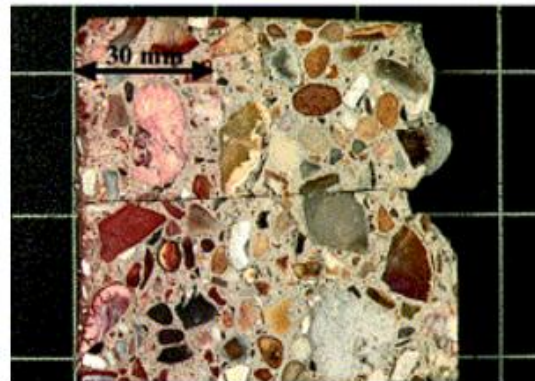


Figura 3.19 – Exemplo de uma análise petrográfica demonstrando uma banda de descoloração de 30 mm (Rodrigues, 2012)

Depois de identificadas, estas alterações observadas podem ser utilizadas para delimitar zonas de temperatura ao longo da secção observada, permitindo classificar qualitativamente o estado do betão.

Custos, o tempo necessário para a sua realização e o facto de ser uma análise qualitativa e não oferecer um valor numérico para a resistência residual serão as principais desvantagens deste processo.

3.3.4 Análises metalográficas

São o processo análogo para armaduras das análises petrográficas. Uma amostra é retirada, sendo polida até apresentar um aspeto espelhado. Após este processo sofre uma lavagem com álcool de modo a evitar a sua oxidação, sendo de seguida atacada com uma solução de Nital (álcool e ácido nítrico) a 2% ou 5% de modo a revelar a sua microestrutura (demonstrada na figura 3.20) para análise com recurso a microscópios (Rodrigues, 1996).

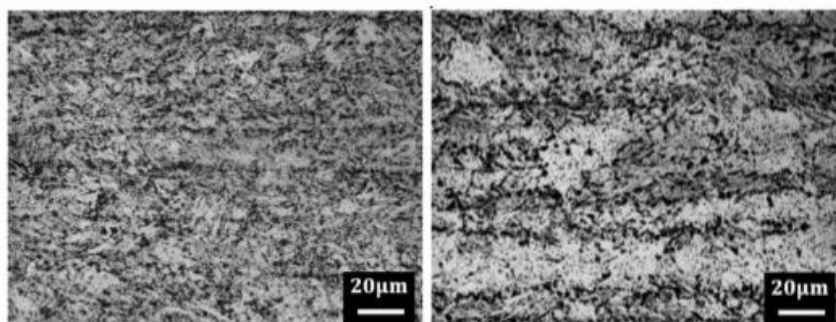


Figura 3.20 – Comparação da microestrutura de uma amostra de aço aquecida a 700°C (esquerda) e a 800°C (direita). (Azhari, 2017)

3.3.5 Termoluminescência

Este método de ensaio baseia-se na propriedade que certos materiais têm de emitir luz visível quando aquecidos como por exemplo o quartzo e o feldspato.

Recorrendo a amostras resultantes da brocagem do betão (que deve ser de baixa rotação modo a não ocorrer aquecimento excessivo e conseqüente alteração destas) sujeitas a tratamentos para retirar outros minerais que possam afetar os resultados, estas são aquecidas e a intensidade da luz emitida é medida. Devido à correlação entre a diminuição da termoluminescência diminuição da resistência residual do betão no intervalo de temperaturas entre os 300°C e 500°C, esta técnica pode ser usada para determinar a penetração da temperatura nos elementos realizando-se várias furações (Rodrigues, 2005)

É, no entanto, necessário equipamento e pessoal técnico especializado, tendo também um custo relativamente alto (Concrete Society, 2008).

3.3.6 Transmissão de pulsos após furação

Proposto por Felicetti (2014), este método consiste na monitorização dos pulsos gerados durante a brocagem de um elemento de betão através de um recetor colocado no lado oposto ao da furação. Como demonstrado na figura 3.21 o princípio de funcionamento deste método é semelhante ao ensaio de ultrassons, permitindo estabelecer uma correlação entre os resultados obtidos e a resistência do elemento em estudo. Apesar do equipamento específico necessário este método tem a vantagem de ser rápido e de não estar dependente de uma superfície plana.

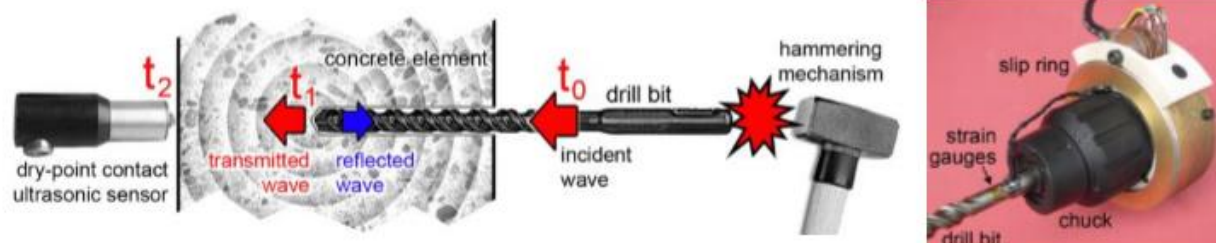


Figura 3.21 – Princípio de funcionamento e exemplo do equipamento para a transmissão de pulsos após furação (Felicetti, 2014)

Em conjunto com este ensaio pode ser realizada a recolha do pó produto da brocagem. Este pó pode ser sujeito a vários tipos de análise (como demonstrado na figura 3.22) desde colorimetria (alterações acima dos 300°C) a testes químicos como a medição do pH que tem uma correlação direta com a quantidade de portlandite presente na matriz do betão. Esta técnica é também bastante útil para determinar profundidades de penetração de cloretos e carbonatação permitindo obter resultados *in-situ*.

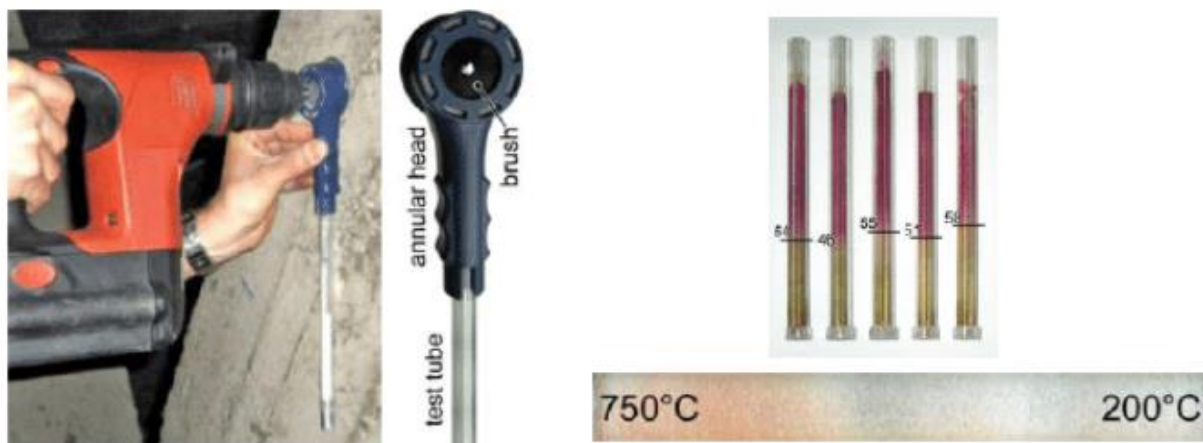


Figura 3.22 – Exemplo do equipamento de recolha do pó de furação, sua utilização e alguns dos ensaios possíveis (alteração do pH e colorimetria) (Felicetti, 2014)

3.3.7 Ensaios de dureza

Estes ensaios correlacionam a dureza obtida numa determinada escala (sendo as de Brinell, Rockwell e Vickers as mais comuns) e a tensão de rotura à tração. O ensaio de dureza de Brinell, presente na EN ISO 6506-1;4, consiste na cravação de um penetrador de diâmetro D com uma força controlável, sendo determinada a área impressa resultante e calculada a dureza de Brinell através da formula apropriada.

Uma alternativa proposta por Felicetti (2014) será a utilização do ensaio de dureza de Leeb (EN ISO 16859-1;3). Este ensaio tem a vantagem de não ser necessário a recolha de amostras e de poder ser realizado *in-situ* ao contrario aos métodos estacionários já apresentados, permitindo a obtenção de resultados e tomadas de decisão mais rápidas.

3.3.8 Ensaio de carotes e amostras de armadura

O método mais direto para avaliar a resistência residual do betão será a realização de carotes e posterior ensaio à compressão segundo o método da EN 12390-3. O corte dos carotes é realizado com auxílio de uma máquina de extração de carotes equipada com uma coroa circular de ponta de diamante (figura 3.23).



Figura 3.23 – Exemplo de máquina de extração de carotes e carote com caneta para referência de escala (Rodrigues, 2012)

Para além da análise à compressão é possível observar o gradiente térmico a que o elemento de betão em estudo esteve exposto através das mudanças de coloração, sendo também possível observar fissuração e fraturas provocadas pela ação térmica (Rodrigues, 1996).

Com a realização do ensaio obtém-se então uma avaliação numérica da resistência residual dos elementos analisados que, caso estes tenham sido realizados onde aparentemente a ação do incêndio foi mais intensa, darão um bom limite inferior das resistências a considerar para a estrutura em estudo (Concrete Society, 2008).

Seguindo a mesma filosofia, a análise de amostras de armadura retiradas do local em estudo e posteriormente ensaio à tração (segundo a EN ISO 6892-1) também será o modo mais direto para determinar as propriedades residuais do aço. Estas amostras deverão ser retiradas em primeiro lugar de elementos demasiado degradados para ser reabilitados, retirando-se amostras de outros locais caso os resultados obtidos não sejam satisfatórios. Estas amostras devem também ser retiradas de zonas que apresentem movimentos nulos em pilares e vigas e das cintas no caso de pilares.



Figura 3.24 – Máquina de ensaio à tração (Rodrigues, 2012)

3.4 CLASSIFICAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS DANOS

Após a avaliação dos danos nos elementos é necessário considerar o seu efeito na totalidade da estrutura. Para esse efeito é apresentado no anexo A um sistema geral de classificação por classes dos danos retirado de CIP W14 Report – Repairability of Fire Damaged Structures (1990). Tendo em conta a sua natureza generalista este método pode não ser o mais adequado dependendo do tipo de estrutura e da natureza do fogo.

O grau dos danos pode ser determinado com base em inspeção visual da estrutura sendo esta suplementada sempre que possível por dados sobre estado do betão e do aço (com recurso a ensaios como os anteriormente apresentados) tal como informação sobre o estado original da estrutura. No entanto, devido à consideração de apenas elementos individuais, ajustes às classificações podem ser

necessárias tendo em conta a estrutura em geral como a continuidade dos elementos ou distorções residuais excessivas (Concrete Society, 2008).

A aplicação deste sistema tem como grande vantagem a facilitação da perceção do impacto do incêndio na totalidade da estrutura, sendo então mais fácil o processo de tomada de decisão quanto à sua reparação, reabilitação ou demolição.

Na generalidade, para estruturas de betão armado pode-se admitir as seguintes tomadas de decisão em função da classe de dano atribuída:

Tabela 3.5 – Critérios de recuperação/demolição de estruturas de betão após incêndio em função da classe de danos (CIP W14, 1990)

Classe	Designação	Descrição
1/2	Dano cosmético superficial Dano técnico superficial	Redecoração; reparação superficial ou reabilitação do elemento.
3	Dano estrutural superficial	Reparação ou reabilitação é recomendada. Restauro do recobrimento onde este tiver sido parcialmente perdido.
4	Dano estrutural na secção resistente (interior)	Reparação ou reabilitação do elemento ainda é solução; resistência do betão e das armaduras afetadas sendo necessário determinar a resistência residual.
5	Dano estrutural de membros e componentes	Grandes reparações ou reabilitação extensa quando possíveis; demolição e reconstrução são normalmente a melhor alternativa (especialmente em elementos pré-esforçados)

Feita a classificação deve ser produzido um documento sobre os danos provocados pelo incêndio que deve conter os seguintes aspetos:

a) Geral

- Nome do edifício/companhia/propriedade incluindo pessoa de contacto;
- Proprietário;
- Endereço, localização;
- Data/ano de construção;

- Brigada de combate ao incêndio, pessoa a contactar;
 - Data e hora do incêndio.
- b) Descrição do edifício
- Plantas de todo o edifício e suas zonas restritas;
 - Dimensões do edifício;
 - Número de pavimentos;
 - Tipo de ligação, pavimento a pavimento;
 - Número de compartimentos por piso;
 - Tipo de ligação entre compartimentos;
 - Tipo de ligação a outros edifícios.
- c) Descrição da construção do edifício
- Capacidade de carga da estrutura principal (vigas e pilares);
 - Capacidade de carga da estrutura secundária (cobertura, pavimentos, paredes);
 - Detalhes e pormenores construtivos indicando dimensões.
- d) Condições de ventilação
- Janelas: formato e número;
 - Portas: formato e número
 - Elementos de iluminação natural e de extração do fumo na cobertura;
 - Tipo do sistema de aquecimento.
- e) Carga de incêndio
- Edifício: materiais, quantidade e descrição;
 - Recheio: materiais, quantidade e descrição.
- f) Características do incêndio
- Origem do incêndio;
 - Evolução do incêndio;
 - Extinção do incêndio;

- Tipo de equipamento de extinção e agente extintor;
- Trabalho efetuado pelos bombeiros na extinção do incêndio.

Esta classificação pode então ser depois apresentada de várias formas, exemplificadas na figura 3.21 e na tabela 3.16.

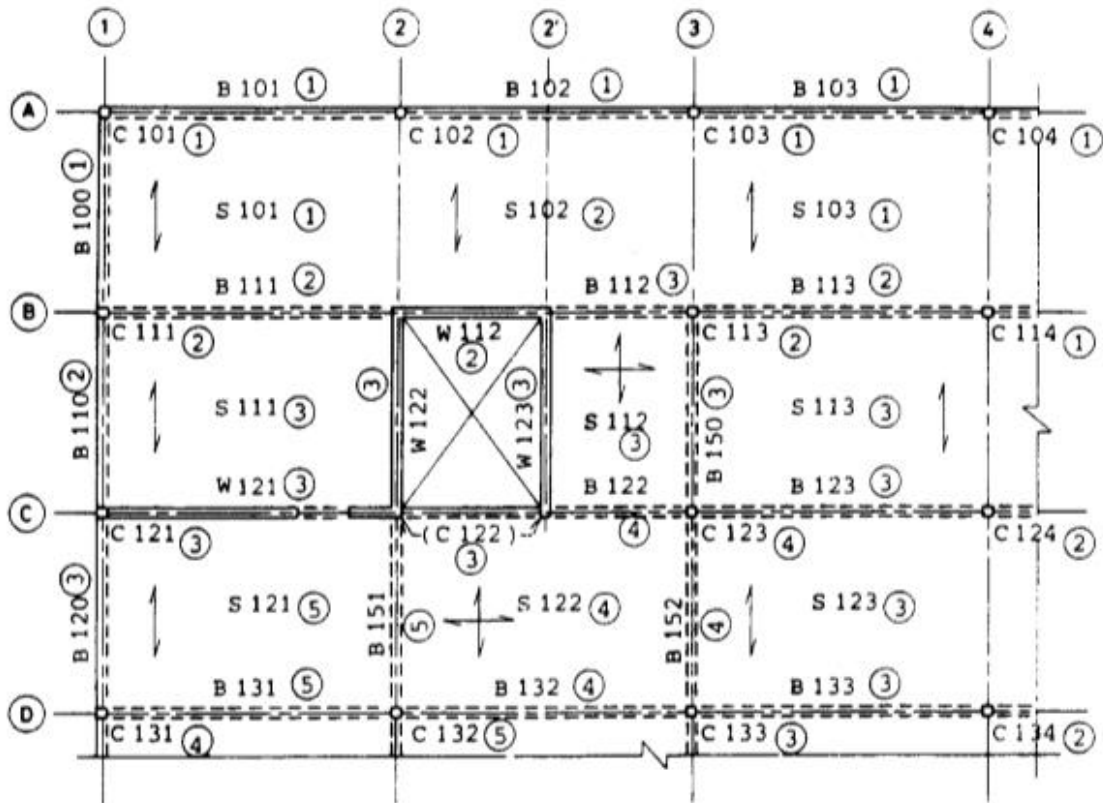


Figura 3.25 – Secção de uma laje de betão armado com indicação de índices de referência para classificação (CIP W14 report, 1990)

Tabela 3.6 – Registo da classificação de danos feita em relação ao exemplo da figura 3.25 (CIP W14 report, 1990)

Element	Columns					Beams					Floor slabs					Roof					
Material	Concrete					Concrete					Concrete					Steel					
Classification	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Element ref. no. 101, 102, 103, 104 114		5																			
111, 113, 124, 134			4																		
121, 122, 123, 133				4																	
123, 131					2																
132						1															

101, 103												2									
102													1								
111, 112, 113, 114														4							
122															1						
121																1					

Total		7	5	6	4	2	<i>not shown</i>					4	3	5	3	2					<i>none</i>

3.5 MÉTODOS DE REPARAÇÃO

Os processos de reparação de betão armado não diferem dos utilizados em reparações realizadas em betão danificado por corrosão das armaduras, devendo ser feita a consulta da norma EN 1504 e de literatura especializada (como por ex. fib bulletin 46, 2008). De modo geral pode-se subdividir o processo em quatro fases (Concrete Society, 2008):

- Limpeza das superfícies,
- Remoção do betão danificado ou enfraquecido,
- Substituição de armaduras enfraquecidas,
- Substituição do betão de modo a obter a forma original, integridade estrutural, durabilidade e resistência do fogo dos elementos. Pode ser necessário também assegurar acabamentos e aspetos estéticos.

Antes da realização de qualquer tipo de trabalho de reparação deve ser realizada a avaliação da estrutura, de modo a assegurar que estes cobrem qualquer problema pré-existente ou causado pelo incêndio como baixas espessuras de recobrimento, ataques por cloretos ou profundidades de carbonatação. Devem ser considerados também os efeitos de contaminações devido ao incêndio na durabilidade a longo prazo da estrutura.

Nas estruturas pré-esforçadas o primeiro passo será garantir a sua capacidade resistente durante a realização dos trabalhos de reparação. No caso de estruturas pós-esforçadas com cabos não aderentes estes, caso danificados, podem ser substituídos e retensionados após reparação da secção de betão. No caso de estruturas pré-esforçadas ou pós-esforçadas com cabos aderentes isto não é possível devido à impossibilidade de remoção dos cabos. Nestes casos a demolição e substituição dos elementos será a opção a tomar sendo, no entanto, possível recorrer a reforços (capítulo 3.5.5) caso se justifique. Caso não existam perdas de tensão basta apenas reparar o betão e armaduras ordinárias afetadas.

3.5.1 Limpeza de superfícies

Os métodos utilizados para remover fuligem ou danos provocados pelo fumo irão depender do grau de descoloração, o acabamento original e a localização do elemento podendo também ser considerado a remoção de cheiros. A realização destas limpezas pode ser necessária antes da realização de reparações de modo a possibilitar a avaliar a estrutura, sendo utilizadas escovas e aspiradores, jatos de água pressurizada ou até produtos químicos.

3.5.2 Remoção de betão

A quantidade de betão removido será determinada pela extensão de danos avaliada e por razões práticas podendo ser retirado mais material do que o estritamente necessário de modo a facilitar os trabalhos. É necessário assegurar que qualquer retirada de material não irá afetar a integridade estrutural do elemento, podendo ser necessário a retirada e posterior recolocação de equipamentos pesados ou a realização de escoramentos.

O objetivo será a retirada de qualquer material danificado e/ou aumentar a área disponível de modo a ser possível serem realizadas as reparações sem danificar betão e armaduras sãs. No caso de existirem armaduras afetadas e necessário garantir espaço livre atrás das mesmas de modo a que seja possível a compactação do material usado na reparação. Este espaço depende do tipo de material utilizado e dos

agregados sendo genericamente suficientes 20mm para reparações com argamassas e betões autocompactáveis e 50mm aconselháveis para reparações com betões projetados. Após a retirada do material a área de trabalhos deve ser tratada de modo a que a sua realização seja mais fácil (alteração da forma, arredondamento de arestas).

Os métodos a utilizar irão depender das áreas em questão e outras condicionantes (espaço, preocupações com ruídos) sendo os mais comuns:

- Martelo e cinzel: pode ser considerado um método lento e árduo mais indicado para reparações de pequena dimensão.
- Recurso a equipamentos elétricos/pneumáticos: mais eficientes havendo, no entanto, o risco de afetar as armaduras e ou betão são. Podem haver problemas também com o peso dos equipamentos e o impacto dos trabalhos (ruídos e pó).
- Hidrodemolição: recurso a jatos de água de alta pressão, sendo esta regulável permitindo uma remoção seletiva (não tão precisa como a do método anterior). Apresenta uma elevada produtividade, não danificando as armaduras podendo, no entanto, apresentar problemas com o ruído e resíduos gerados.

3.5.3 Reparação de armaduras

É recomendado que as novas armaduras possuam o mesmo tamanho e espaçamento da solução original, simplificando a ligação à armadura existente. A escolha de soluções deve ser feita em concordância com a reparação do betão de modo a garantir a compactação do material escolhido.

A reparação pode passar por amarração de varões, soldadura ou utilização de acopladores. Em casos em que se use amarração é preciso assegurar que os comprimentos de amarração são cumpridos de modo a existir transmissão de esforços de tensão ou compressão. Soldadura de varões deve ser evitada devido à variabilidade da qualidade da ligação obtida (mão de obra especializada e um processo de controlo de qualidade é recomendado) além do risco de danificar o betão adjacente no processo. No caso da aplicação de acopladores, o tipo utilizado terá de ter em conta os esforços a que as barras irão estar sujeitas e também às condições de trabalho possíveis.

Podem também ser ancoradas barras de reforço a elementos com recurso a furações em betão saudável. Neste caso é necessário o enchimento dos furos com resinas antes da inserção dos varões de modo a assegurar que não formação de bolhas de ar comprometendo a ligação entre os materiais.

3.5.4 Reparação do betão

O método para reparação de betão irá depender de vários fatores como a área a reparar, disposição das armaduras, acessos e meios disponíveis. Os métodos mais comuns são:

- Argamassas
- Betão corrente ou autocompactável
- Betão projetado
- Resinas

Argamassas são utilizadas em pequenas reparações (usualmente $\leq 1\text{m}^2$) e aplicadas de forma manual. A mistura e utilização das argamassas devem seguir as especificações do fornecedor da mesma. A sua aplicação deve-se realizar em substrato humedecido ou previamente tratado com um agente ligante assegurando-se sempre a compactação e que não existem espaços vazios (principalmente nas armaduras). Em reparações com maior profundidade a aplicação deve ser realizada por camadas de modo a garantir a qualidade.

Reparações com betão corrente ou autocompactável são utilizadas quando a área de reparação é mais substancial ou é necessário garantir um bom acabamento. Estes métodos são semelhantes, recorrendo a cofragens resistentes e impermeáveis de modo a assegurar a não formação de bolhas de ar e por consequência uma boa compactação do material. Fatores a considerar entre a escolha de um método ou outro serão o espaçamento entre barras (que condicionam os meios de compactação) e a espessura da reparação (em espessuras mais pequenas justifica-se a utilização de betão autocompactável)

Betão projetado deve ser utilizado em reparações de grandes dimensões devido a sua alta produtividade. Existem dois processos de aplicação, por via seca ou molhada. Em ambos argamassa ou betão são conduzidos por mangueira e projetados a alta velocidade contra o substrato. Devido à natureza do processo não é necessária compactação podendo, no entanto, a face ser acabada à mão de modo a obter um acabamento mais uniforme. Em termos comparativos entre os dois métodos pode-se considerar que a aplicação por via molhada geralmente apresenta melhor qualidade e consistência, menores perdas de material e menor produção de detritos e poeiras. Em ambos os processos é necessário garantir um tratamento do substrato, sendo este limpo e humedecido antes da aplicação do betão.

Resinas (epoxis, poliésteres ou argamassas acrílicas) são normalmente utilizadas para reparações em casos leves de *spalling*, apresentando boa aderência ao betão e armaduras e boas resistências à compressão, flexão e tração (podendo nestes últimos até ser superior ao próprio betão). No entanto devido ao amolecimento que estes materiais sofrem a temperaturas relativamente baixas (por volta dos 80°C) a

resistência ao fogo não é garantida. Tendo isto em conta, é necessário garantir então que neste tipo de reparações que o produto utilizado terá resistência adequada ao fogo/a sua falha não irá comprometer a estabilidade do elemento ou será depois protegido com recurso a outros materiais.

3.5.5 Aplicação de reforços

Nos casos em que apenas a reparação dos elementos não é suficiente para assegurar o retorno às condições originais ou para esforços extra devido a deformações ou atualizações à estrutura, reforço dos elementos será uma opção à demolição e reconstrução.

Estes reforços podem ser realizados com adição de armaduras exteriores ou encamisamentos em betão, chapas metálicas ou materiais compósitos (fibras de carbono). A escolha do método irá depender dos custos da intervenção, natureza da intervenção (reforço à flexão, tração, compressão) e condicionantes da arquitetura. É aconselhável a consulta de literatura especializada para além da EN 1504 para o dimensionamento destes reforços.

Questões podem ser levantadas quanto ao comportamento destes reforços no caso de outro incêndio, devendo a estrutura ser capaz de manter estabilidade à solicitação acidental (como definida pela EN 1991-1-2) sem ter em conta a contribuição dos reforços (garantindo assim que estes podem falhar sem por em risco a estrutura).

3.5.6 Reparação após ataque químico por cloretos

Caso se verifique ataque por cloretos como referido no capítulo 3.1.6 é necessário proceder à sua reparação. Segundo Rodrigues (1996), para betões densos, com pequena profundidade de penetração (0 a 1mm) o tratamento da superfície com jatos de água quente a alta pressão misturados com produtos industriais de limpeza são eficazes podendo, no entanto, ser necessário repetir o processo várias vezes.

Para betões porosos que apresentem profundidades de penetração maiores, deve-se ser realizado o tratamento da superfície com uma solução de hidrato de cálcio com o mínimo de água possível. A adição excessiva desta solução poderá aumentar a possibilidade de penetração dos cloretos em direção às armaduras sendo aconselhável um controlo sistemático da quantidade aplicada.

Outra solução para elementos em betão pré-esforçado ou que apresentem penetrações profundas passará pela remoção do betão afetado e colocação de betão projetado.

4 CASO DE ESTUDO

Durante a realização desta dissertação foram realizados vários contactos de modo a ter situações reais para analisar. Em cooperação com os Bombeiros Sapadores do Porto e a empresa Costa Almeida Demolições foi planeado um ensaio de modo a simular uma situação de incêndio (no Anexo B). Foi também pedido à mesma cooperação e à Companhia de Bombeiros Sapadores de Gaia para visitar locais em que tivesse ocorrido um incêndio e ou locais futuros onde houvesse uma ocorrência e fosse possível visitar e analisar. Devido à complexidade destas situações (questões de segurança jurídicas, etc.) Ambas as soluções acabaram por não ser exequíveis ficando, no entanto, um agradecimento aos comandantes Rebelo de Carvalho e Vítor Primo pela disponibilidade e atenção prestada. Foram também realizados contactos com a Universidade de Coimbra visto estes terem peças de betão armado utilizadas em ensaios em forno. Isto também não foi possível ficando também o agradecimento ao Eng. João Paulo Rodrigues pela disponibilidade.

Em alternativa apresenta-se então casos teórico-práticos para demonstrar exemplos da aplicabilidade das metodologias expostas anteriormente nomeadamente os métodos indiretos apresentados no capítulo 3.

4.1 ESTIMATIVA DA SEVERIDADE DE UM INCÊNDIO

Apresenta-se na figura 4.1 e 4.2 um local sujeito a um incêndio. O local trata-se de um compartimento de um empreendimento turístico, com construção corrente constituída por pilares, vigas e lajes de betão armado sendo a parede exterior realizada em bloco térmico e as paredes divisórias em tijolo normal. As dimensões em planta e propriedades dos materiais utilizados apresentam-se nas imagens 4.1 e 4.2 e na tabela 4.1 respetivamente.

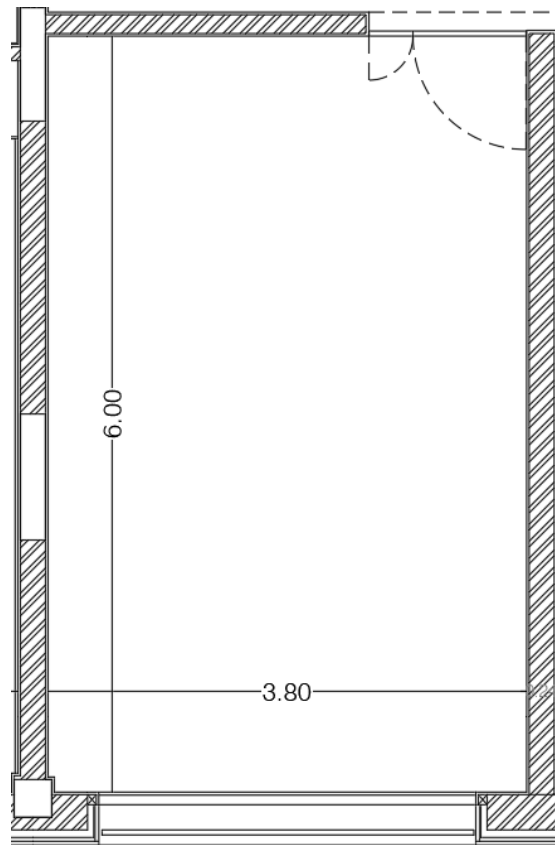


Figura 4.1 – Planta do local em estudo

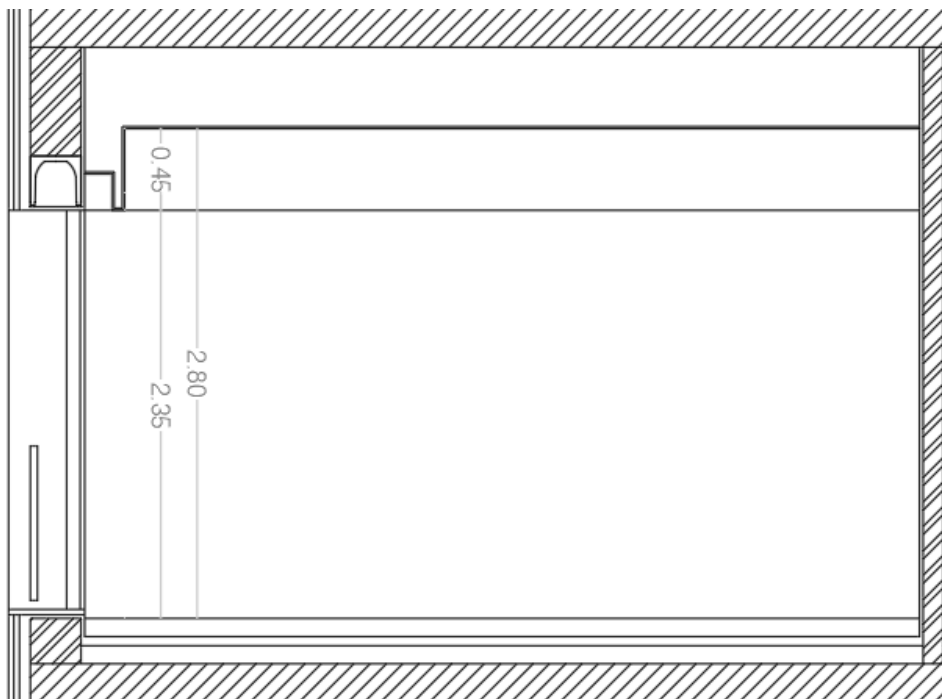


Figura 4.2 – Corte do local em estudo

Tabela 4.1 – Propriedades térmicas dos materiais

Material	ρ (kg/m ³)	c (J/kgK)	λ (W/mK)
Betão	2300	1000	1.6
Bloco Térmico	860	840	0.22
Tijolo	1750	920	0.65

Havendo informação da duração do incêndio (relatos de testemunhas, relatórios dos bombeiros, etc.) pode-se recorrer a curvas nominais (capítulo 2.31) para estimar a severidade de um incêndio. No entanto, tendo acesso à tipologia de utilização, características geométricas do local e propriedades térmicas da envolvente é possível elaborar uma curva paramétrica (capítulo 2.3.3) para estimar a severidade do incêndio.

4.1.1 Estimativa com recurso a curvas paramétricas

Com recurso às dimensões em planta e as características dos materiais utilizados é possível realizar uma curva paramétrica de modo a determinar a temperatura máxima e duração do incêndio tendo em conta os parâmetros físicos presentes no local. A definição do ramo de aquecimento e arrefecimento irá possibilitar também determinar a duração total do incêndio.

A fase de aquecimento será:

$$\theta_g = 20 + 1325(1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*}) \quad (2.8)$$

Considerando a situação mais gravosa de colapso total da janela:

$$A_v = 3.8 \cdot 2.2 = 8.36 \text{ m}^2$$

$$A_t = 3.8 \cdot 2.8 \cdot 2 + 6 \cdot 2.8 \cdot 2 + 8.8 \cdot 6 \cdot 2 = 100.48 \text{ m}^2$$

$$h_{eq} = 2.2 \text{ m}^2$$

Consultando as tabela 2.1 e 2.2: $t_{lim} = 20 \text{ min} = 0.333h$

Segundo a tabela 2.3 ter-se-à $\delta_{q2} = 1.50$ e $\delta_{q2} = 1$

Tendo em conta $\delta_{q2} = 1$, a carga de incêndio pode ser definida consultando a tabela 2.6:

$$q_{f,k} = 377 \text{ MJ/m}^2$$

Não havendo conhecimento das medidas ativas de segurança (e de acordo com o anexo nacional da EN 1991-1-2):

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m = 377 \cdot 1 = 377 \text{ MJ/m}^2 \quad (2.12)$$

$$A_f = 3.8 \cdot 6 = 22.8 \text{ m}^2$$

$$q_{t,d} = q_{f,d} \cdot \frac{A_f}{A_t} = 377 \cdot \frac{22.8}{100.48} = 85.55 \text{ MJ/m}^2$$

$$O = \frac{A_v \sqrt{h_{eq}}}{A_t} = 8.36 \cdot \frac{\sqrt{2.2}}{100.48} = 0.123 \text{ m}^{1/2} \rightarrow 0.02 \leq 0.123 \leq 0.2 \text{ OK}$$

$$\begin{aligned} t_{max} &= \max \left[\left(0.2 \times 10^{-3} \cdot \frac{q_{f,d}}{O} \right); t_{lim} \right] = \max \left[0.2 \times 10^{-3} \cdot \frac{85.55}{0.123}; 0.333 \right] \\ &= \max [0.145; 0.333] = 0.333 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Como $t_{max} = t_{lim}$ o incêndio é controlado pela carga e ter-se à:

$$t^* = t \cdot \Gamma_{lim} \quad (2.13)$$

$$\Gamma_{lim} = [O_{lim}/b]^2 / (0.04/1160)^2 \quad (2.14)$$

$$O_{lim} = 0.1 \times 10^{-3} \cdot \frac{q_{t,d}}{t_{lim}}$$

Sendo os materiais constituintes da envolvente diferentes teremos:

$$b = (\Sigma(b_j A_j)) / (A_t - A_v) \quad (2.11)$$

$$A_{Tijolo} = 3.8 \cdot 2 + 6 \cdot 2.8 \cdot 2 = 44.24 \text{ m}^2$$

$$A_{Bloco} = 3.8 \cdot (2.8 - 2.2) = 2.28 \text{ m}^2$$

$$A_{Betão} = 3.8 \cdot 6 \cdot 2 = 45.6 \text{ m}^2$$

$$\rho_{envolvente} = \frac{2300 \cdot 45.6 + 1750 \cdot 44.24 + 860 \cdot 2.28}{100.48 - 8.38} = 2000.23 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{envolvente} = \frac{1000 \cdot 45.6 + 920 \cdot 44.24 + 840 \cdot 2.28}{100.48 - 8.38} = 957.22 \text{ J/KgK}$$

$$\lambda_{envolvente} = \frac{1.6 \cdot 45.6 + 0.65 \cdot 44.24 + 0.22 \cdot 2.28}{100.48 - 8.38} = 1.11 \text{ W/mK}$$

$$\begin{aligned} b &= \sqrt{(\rho c \lambda)} = \sqrt{2000.23 \cdot 957.22 \cdot 1.11} = 1457.8 \text{ J/m}^2 \text{ s}^{1/2} \text{ K} \rightarrow 100 \leq 1457.8 \\ &\leq 2200 \text{ OK} \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$O_{lim} = 0.1 \times 10^{-3} \cdot \frac{85.55}{0.333} = 0.026$$

$$\Gamma_{lim} = \frac{(0.026/1457.8)^2}{(0.04/1160)^2} = 0.268$$

$$t^* = 0.333 \cdot 0.268 = 0.089$$

$$\begin{aligned} \theta_g &= 20 + 1325(1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*}) = \\ &= 20 + 1325(1 - 0.324e^{-0.2 \cdot 0.089} - 0.204e^{-1.7 \cdot 0.089} - 0.472e^{-19 \cdot 0.089}) = 575.64^\circ\text{C} \end{aligned}$$

A temperatura máxima será então de 576.53°C.

A fase de arrefecimento pode ser calculada por:

$$t_{max}^* = (0.2 \times 10^{-3} \cdot q_{t,d}/O) \cdot \Gamma \quad (2.17)$$

$$\Gamma = \frac{\left[\frac{O}{b}\right]^2}{\left(\frac{0.04}{1160}\right)^2} = \frac{\left(\frac{0.1237}{1457.58}\right)^2}{\left(\frac{0.04}{1160}\right)^2} = 6.05 \quad (2.8)$$

$$t_{max}^* = \left(0.2 \times 10^{-3} \cdot \frac{85.55}{0.1237}\right) \cdot 6.05 = 0.837$$

$0.5 \leq 0.837 \leq 2$ então a curva de arrefecimento será:

$$\theta_g = \theta_{max} - 250(3 - t_{max}^*)(t^* - t_{max}^* \cdot x) \quad (2.15)$$

$$t^* = t \cdot \Gamma$$

$$t_{max} = t_{lim} \log x = t_{lim} \cdot \Gamma / t_{max}^* = 0.333 \cdot 6.05 / 0.837 = 2.4$$

Para calcular a duração total do incêndio:

$$20 = 575.64 - 250(3 - 0.837)(t \cdot 6.05 - 0.837 \cdot 2.4) \rightarrow t = 0.501h = 30 \text{ min}$$

Apresenta-se na figura 4.3 a curva paramétrica obtida em comparação com a curva ISO 834 (expressão 2.5) para o mesmo $t = 30 \text{ min}$.

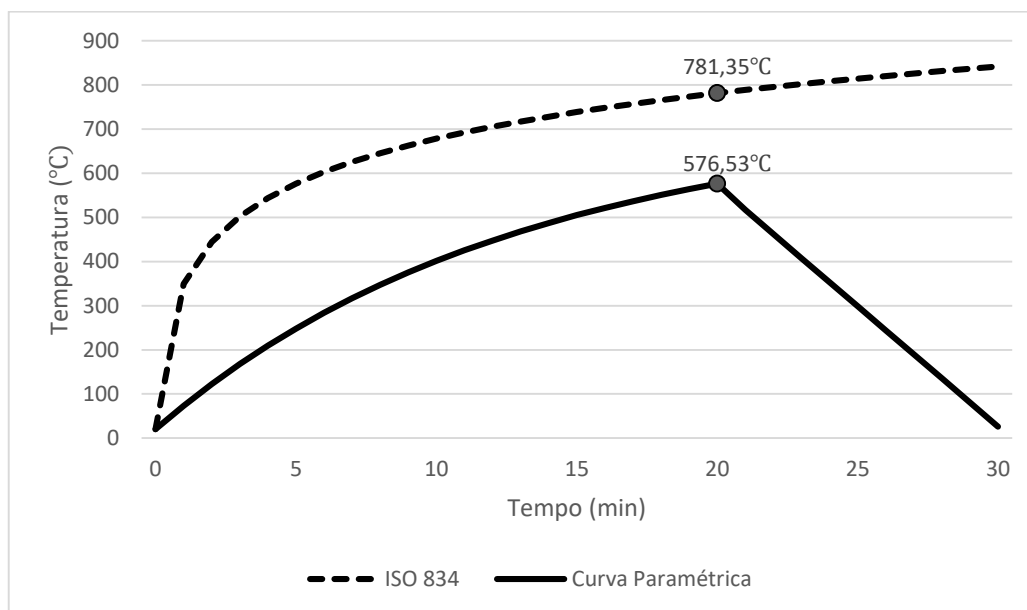


Figura 4.3 – Comparação das curvas e temperaturas obtidas para t=20 min

4.2 ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA RESIDUAL

Neste ponto será analisada, com base no método simplificado da isotérmica 500°C (capítulo 2.4.1), a evolução da resistência residual de três elementos de betão armado (pilar, laje e viga) em função do tempo de exposição a um incêndio. A ação térmica irá ser definida segundo a curva de incêndio padrão (expressão 2.5) até um t máximo de 120 minutos. Irá ser feita a comparação entre os fatores de redução de resistência apresentados nos capítulos 2.6 e 3.2, nomeadamente a consideração das isotérmicas 300°C e 500°C como temperaturas para definição das secções reduzidas de betão e os diferentes valores de redução da resistência máxima do aço apresentadas na EN 1992-1-2 (Figura 2.18) e as obtidas por meios experimentais (Figura 3.13). O método para a determinação dos perfis de temperatura utilizado será o método simplificado proposto por Wickström no capítulo 2.5 considerando-se betões com uma difusão térmica $a_c = 417 \times 10^{-9} m^2 s^{-1}$. Além dos cálculos apresentados no anexo C apresenta-se o processo de cálculo para $t = 60$ para cada elemento e atribuindo-se uma classificação de dano segundo o método exposto no capítulo 3.4.

Por fim, num exemplo da utilização conjunta das duas metodologias expostas no capítulo 3, é apresentado como obter a resistência residual de uma viga através do conhecimento da profundidade da isotérmica 300°C.

4.2.1 Pilar

Apresenta-se um pilar como exemplificado na figura 4.4 sujeito apenas a carga axial e exposto ao fogo em quatro faces:

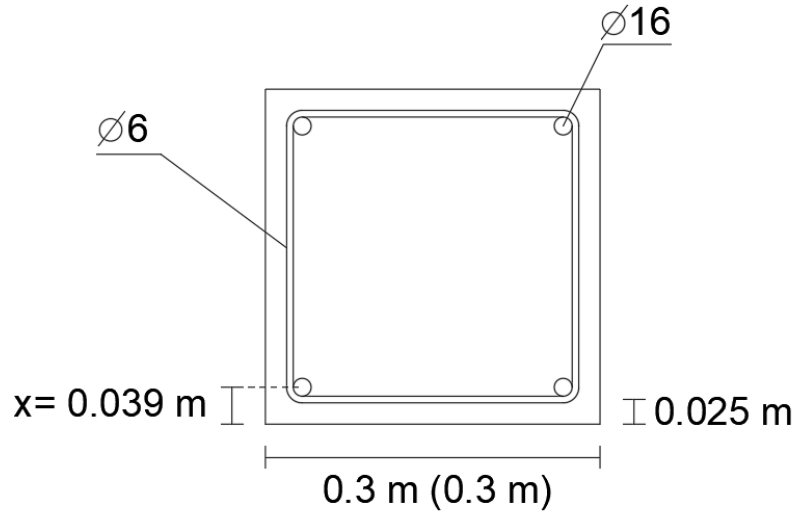


Figura 4.4 – Secção transversal do pilar em estudo

Será considerado $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ e $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$.

A resistência à temperatura ambiente será então:

$$N_{rd} = A_{\text{betão}} \cdot f_{cd} + A_{\text{aço}} \cdot f_{yd} = (0,3 - 2 \cdot 0,039)^2 \cdot \frac{30}{1,5} \times 10^3 + (2,01 \times 10^{-4} \cdot 4) \cdot \frac{500}{1,15} \times 10^3$$

$$= 2149,5 \text{ KN}$$

Temperatura do fogo para $t = 60$:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) = \tag{2.5}$$

$$= 20 + 345 \log_{10}(8 \cdot 60 + 1) = 945,34 \text{ °C}$$

Determinação da temperatura atingida na armadura

$$\text{Sendo o fluxo biaxial: } \theta_{xy} = (n_w(n_x + n_y - 2n_x n_y) + n_x n_y) \theta_f \tag{2.33}$$

$$n_w = 1 - 0,0616 t_w^{-0,88} = 1 - 0,0616 \cdot 1^{-0,88} = 0,938 \tag{2.27}$$

$$n_x = 0,18 \ln u_x - 0,81 \tag{2.30}$$

$$u_x = \frac{at}{a_c x^2}, \text{ como } a = a_c, u_x = \frac{t}{x^2} = 657,46$$

$$n_y = n_x = 0,18 \ln(657,46) - 0,81 = 0,358 \tag{2.31}$$

$$\theta_{barra} = (0.938 \cdot (2 \cdot 0.358 - 2 \cdot 0.358^2) + 2 \cdot 0.358) \cdot 945.34 = 528.83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$k_s(\theta)$ segundo a EN1992-1-2 (Figura 2.18):

$$\theta_{barra} = 528.83 \rightarrow k_s(528.83) = 0.1 - 0.47 \cdot \frac{528.83 - 700}{200} = 0.502$$

$k_s(\theta)$ segundo a resistência residual apresentada na figura (3.13):

$$\theta_{barra} = 528.83 \rightarrow k_s(\theta) = 1 - 0.28 \cdot \frac{528.83 - 500}{200} = 0.973$$

Determinação da secção de betão reduzida

Profundidade das isotérmicas de 300°C e 500°C:

$$n_x' = \frac{2n_w - \sqrt{(2 \cdot n_w)^2 - 4(2n_w - 1) \cdot \left(\frac{\theta_{iso}}{\theta_f}\right)}}{2(n_w - 1)} \rightarrow n_{x500} = \frac{2 \cdot 0.938 - \sqrt{(2 \cdot 0.938)^2 - 4(2 \cdot 0.938 - 1) \cdot \left(\frac{500}{1049}\right)}}{2 \cdot (0.938 - 1)} = 0.334 \quad (2.35)$$

e,

$$n_x' = \frac{2n_w - \sqrt{(2 \cdot n_w)^2 - 4(2n_w - 1) \cdot \left(\frac{\theta_{iso}}{\theta_f}\right)}}{2(n_w - 1)} \rightarrow n_{x300} = \frac{2 \cdot 0.938 - \sqrt{(2 \cdot 0.938)^2 - 4(2 \cdot 0.938 - 1) \cdot \left(\frac{300}{1049}\right)}}{2 \cdot (0.938 - 1)} = 0.185$$

Tendo então:

$$x' = \sqrt{\frac{t}{e^{\left(\frac{n_x+0.81}{0.18}\right)}}} \rightarrow x'_{500} = \sqrt{\frac{1}{e^{\left(\frac{0.334+0.81}{0.18}\right)}}} = 0.042 \text{ m} \quad (2.36)$$

e,

$$x' = \sqrt{\frac{t}{e^{\left(\frac{n_x+0.81}{0.18}\right)}}} \rightarrow x'_{300} = \sqrt{\frac{1}{e^{\left(\frac{0.185+0.81}{0.18}\right)}}} = 0.063 \text{ m}$$

A resistência residual será então:

$$N_{rd,res} = A_{betão} \cdot f_{yd} + A_{aço} \cdot f_{cd} \cdot k_s(\theta)$$

As resistências residuais serão então:

Isotérmica 500°C, $k_s(\theta)$ segundo EN 1992-1-2

$$N_{rd,res} = (0.3 - 0.042 \cdot 2)^2 \cdot \frac{30}{1.5} \times 10^3 + (2.01 \times 10^{-4} \cdot 4) \cdot \frac{500}{1.15} \times 10^3 \cdot 0.502 = 1114.02 \text{ KN}$$

Isotérmica 500°C, $k_s(\theta)$ segundo resistência residual na figura (3.13)

$$N_{rd,res} = (0.3 - 0.042 \cdot 2)^2 \cdot \frac{30}{1.5} \times 10^3 + (2.01 \times 10^{-4} \cdot 4) \cdot \frac{500}{1.15} \times 10^3 \cdot 0.973 = 1278.58 \text{ KN}$$

Isotérmica 300°C, $k_s(\theta)$ segundo EN 1992-1-2

$$N_{rd,res} = (0.3 - 0.063 \cdot 2)^2 \cdot \frac{30}{1.5} \times 10^3 + (2.01 \times 10^{-4} \cdot 4) \cdot \frac{500}{1.15} \times 10^3 \cdot 0.502 = 780.64 \text{ KN}$$

Isotérmica 300°C, $k_s(\theta)$ segundo resistência residual na figura (3.13)

$$N_{rd,res} = (0.3 - 0.042 \cdot 2)^2 \cdot \frac{30}{1.5} \times 10^3 + (2.01 \times 10^{-4} \cdot 4) \cdot \frac{500}{1.15} \times 10^3 \cdot 0.973 = 945.2 \text{ KN}$$

Tendo em conta a diminuição da secção resistente e a temperatura máxima atingida pela armadura, para $t = 60$ pode-se atribuir ao pilar a classe de dano 3 (capítulo 3.4).

Apresenta-se de seguida a evolução da resistência residual do pilar em estudo em função da exposição à curva incêndio padrão até $t = 120 \text{ min}$.

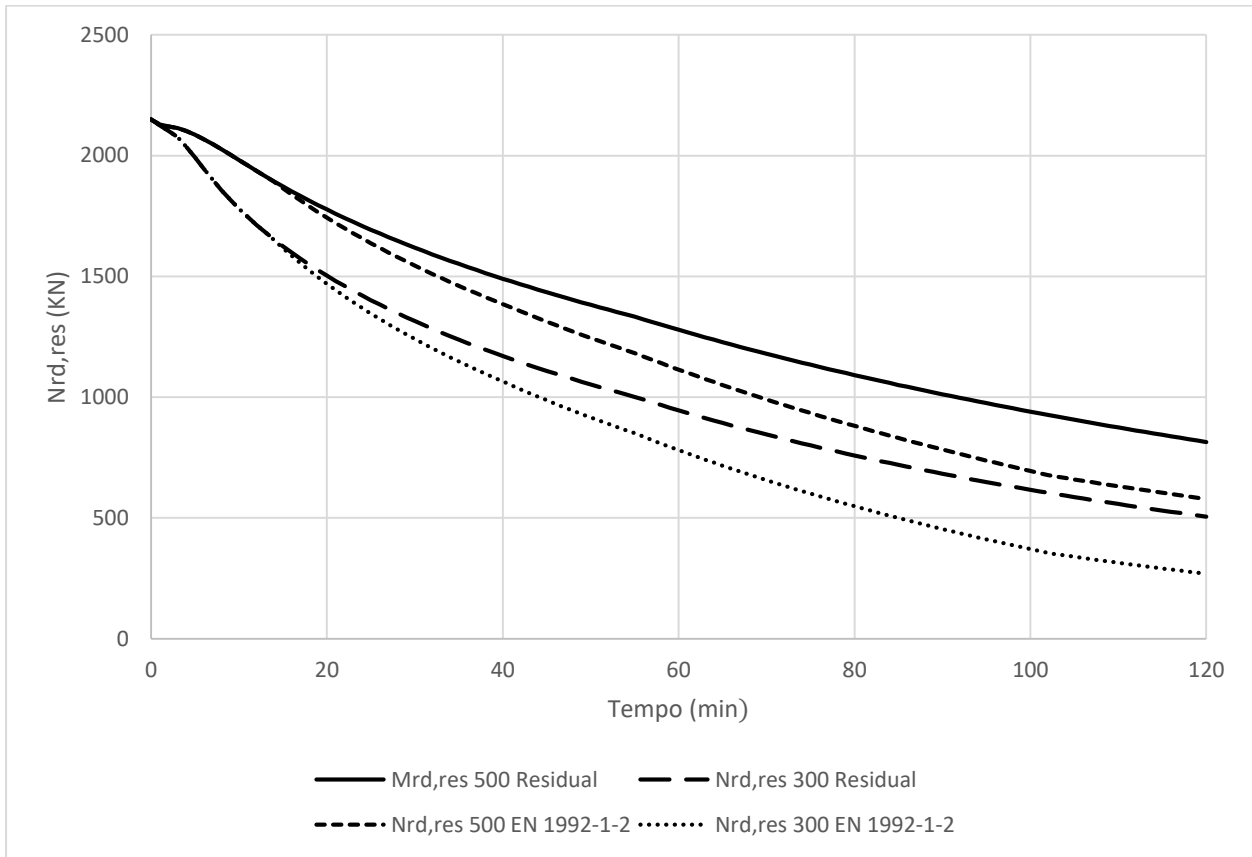


Figura 4.5 – Comparação da relação $N_{rd,res}/$ tempo para o pilar em estudo

4.2.2 Viga

Considere-se uma viga como a apresentada na figura 4.6 sujeita a flexão simples:

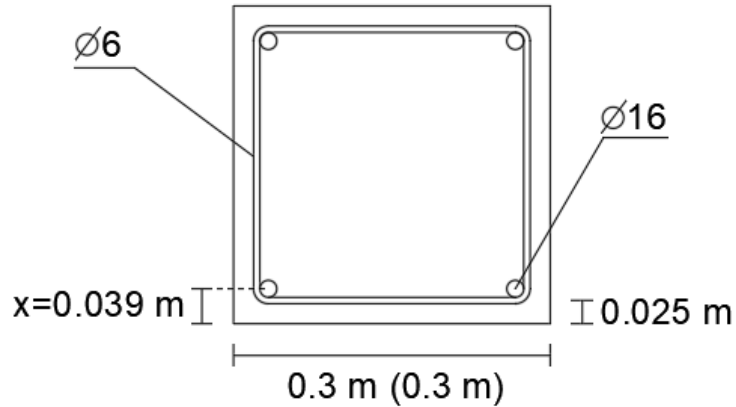


Figura 4.6 – Secção transversal da viga em estudo

Será considerado $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$ e $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$.

À temperatura ambiente:

$$F_s = A_{aço} \cdot f_{yd} = 4.01 \times 10^{-4} \cdot \frac{400}{1.15} \times 10^3 = 139.49 \text{ KN}$$

$$F_c = 0.8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 0.8 \cdot x \cdot 0.3 \cdot \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 3200x \text{ KN}$$

$$x = \frac{F_s}{F_c} = \frac{139.49}{3200} = 0.0436 \text{ m}$$

$$z = d - 0.4x = (0.3 - 0.039) - 0.4 \cdot 0.0436 = 0.244 \text{ m}$$

$$M_{rd} = F_s \cdot z = 139.49 \cdot 0.244 = 34.04 \text{ KN}$$

Temperatura do fogo:

$$\begin{aligned} \theta_g &= 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) = \\ &= 20 + 345 \log_{10}(8 \cdot 60 + 1) = 945.34 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Determinação da temperatura atingida na armadura

Sendo o fluxo biaxial

$$\theta_{xy} = (n_w(n_x + n_y - 2n_x n_y) + n_x n_y) \theta_f$$

$$n_w = 1 - 0.0616 t_w^{-0.88} = 1 - 0.0616 \cdot 1^{-0.88} = 0.938$$

$$n_x = 0.18 \ln u_x - 0.81$$

$$u_x = \frac{at}{a_c x^2}, \text{ como } a = a_c, u_x = \frac{t}{x^2} = 657.46$$

$$n_y = n_x = 0.18 \ln(657.46) - 0.81 = 0.358$$

$$\theta_{barra} = (0.938 \cdot (2 \cdot 0.358 - 2 \cdot 0.358^2) + 2 \cdot 0.358) \cdot 945.34 = 528.83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$k_s(\theta)$ segundo a EN1992-1-2 (Figura 2.18):

$$\theta_{barra} = 528.83 \rightarrow k_s(528.83) = 0.1 - 0.47 \cdot \frac{528.83 - 700}{200} = 0.502$$

$k_s(\theta)$ segundo a resistência residual apresentada na figura (3.13):

$$\theta_{barra} = 528.83 \rightarrow k_s(\theta) = 1 - 0.28 \cdot \frac{528.83 - 500}{200} = 0.973$$

Determinação da secção de betão reduzida

Profundidade das isotérmicas de 300°C e 500°C:

$$\begin{aligned} n_{x'} &= \frac{2n_w - \sqrt{(2 \cdot n_w)^2 - 4(2n_w - 1) \cdot \left(\frac{\theta_{iso}}{\theta_f}\right)}}{2(n_w - 1)} \rightarrow n'_{x500} = \\ &= \frac{2 \cdot 0.938 - \sqrt{(2 \cdot 0.938)^2 - 4(2 \cdot 0.938 - 1) \cdot \left(\frac{500}{1049}\right)}}{2 \cdot (0.938 - 1)} = 0.334 \end{aligned}$$

e,

$$\begin{aligned} n_{x'} &= \frac{2n_w - \sqrt{(2 \cdot n_w)^2 - 4(2n_w - 1) \cdot \left(\frac{\theta_{iso}}{\theta_f}\right)}}{2(n_w - 1)} \rightarrow n'_{x300} = \\ &= \frac{2 \cdot 0.938 - \sqrt{(2 \cdot 0.938)^2 - 4(2 \cdot 0.938 - 1) \cdot \left(\frac{300}{1049}\right)}}{2 \cdot (0.938 - 1)} = 0.185 \end{aligned}$$

Tendo então:

$$x' = \sqrt{\frac{t}{e^{\left(\frac{n_x + 0.81}{0.18}\right)}}} \rightarrow x'_{500} = \sqrt{\frac{1}{e^{\left(\frac{0.334 + 0.81}{0.18}\right)}}} = 0.042 \text{ m}$$

e,

$$x' = \sqrt{\frac{t}{e^{\left(\frac{n_x+0.81}{0.18}\right)}}} \rightarrow x'_{300} = \sqrt{\frac{1}{e^{\left(\frac{0.185+0.81}{0.18}\right)}}} = 0.063 \text{ m}$$

As resistências residuais serão então:

Isotérmica 500°C, $k_s(\theta)$ segundo EN 1992-1-2

$$F_s = A_{aço} \cdot f_{yd} \cdot k_s(\theta) = 4.01 \times 10^{-4} \cdot \frac{400}{1.15} \times 10^3 \cdot 0.502 = 70.21 \text{ KN}$$

$$F_c = 0.8 \cdot x \cdot b_{fi} \cdot f_{cd} = 0.8 \cdot x \cdot (0.3 - 0.042) \cdot \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 2310x \text{ KN}$$

$$x = \frac{F_s}{F_c} = \frac{70.21}{2310} = 0.0303 \text{ m}$$

$$z = d_{fi} - 0.4x = (0.3 - 0.042) - 0.4 \cdot 0.0303 = 0.246 \text{ m}$$

$$Mrd_{res} = F_s \cdot z = 70.21 \cdot 0.246 = 17.28 \text{ KNm}$$

Isotérmica 500°C, $k_s(\theta)$ segundo resistência residual na figura (3.13)

$$F_s = A_{aço} \cdot f_{yd} \cdot k_s(\theta) = 4.01 \times 10^{-4} \cdot \frac{400}{1.15} \times 10^3 \cdot 0.973 = 136.03 \text{ KN}$$

$$F_c = 0.8 \cdot x \cdot b_{fi} \cdot f_{cd} = 0.8 \cdot x \cdot (0.3 - 0.042) \cdot \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 2310x \text{ KN}$$

$$x = \frac{F_s}{F_c} = \frac{136.03}{2310} = 0.0588 \text{ m}$$

$$z = d_{fi} - 0.4x = (0.3 - 0.042) - 0.4 \cdot 0.0436 = 0.234 \text{ m}$$

$$Mrd_{res} = F_s \cdot z = 136.03 \cdot 0.234 = 31.9 \text{ KNm}$$

Isotérmica 300°C, $k_s(\theta)$ segundo EN 1992-1-2

$$F_s = A_{aço} \cdot f_{yd} \cdot k_s(\theta) = 4.01 \times 10^{-4} \cdot \frac{400}{1.15} \times 10^3 \cdot 0.502 = 70.21 \text{ KN}$$

$$F_c = 0.8 \cdot x \cdot b_{fi} \cdot f_{cd} = 0.8 \cdot x \cdot (0.3 - 0.063) \cdot \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 1855x \text{ KN}$$

$$x = \frac{F_s}{F_c} = \frac{70.21}{1855} = 0.0378 \text{ m}$$

$$z = d_{fi} - 0.4x = (0.3 - 0.063) - 0.4 \cdot 0.0378 = 0.221 \text{ m}$$

$$Mrd_{res} = F_s \cdot z = 70.21 \cdot 0.221 = 15.58 \text{ KNm}$$

Isotérmica 300°C, $k_s(\theta)$ segundo resistência residual na figura (3.13)

$$F_s = A_{aço} \cdot f_{yd} \cdot k_s(\theta) = 4.01 \times 10^{-4} \cdot \frac{400}{1.15} \times 10^3 \cdot 0.973 = 136.03 \text{ KN}$$

$$F_c = 0.8 \cdot x \cdot b_{fi} \cdot f_{cd} = 0.8 \cdot x \cdot (0.3 - 0.063) \cdot \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 1855.37x \text{ KN}$$

$$x = \frac{F_s}{F_c} = \frac{136.03}{1855.37} = 0.073 \text{ m}$$

$$z = d_{fi} - 0.4x = (0.3 - 0.063) - 0.4 \cdot 0.073 = 0.208 \text{ m}$$

$$Mrd_{res} = F_s \cdot z = 139.49 \cdot 0.244 = 28.25 \text{ KNm}$$

Tendo em conta a diminuição da secção resistente e a temperatura máxima atingida pela armadura, para $t = 60$ pode-se atribuir à viga a classe de dano 3 (capítulo 3.4).

Apresenta-se de seguida a evolução da resistência residual da viga em estudo em função da exposição à curva incêndio padrão até $t = 120 \text{ min}$.

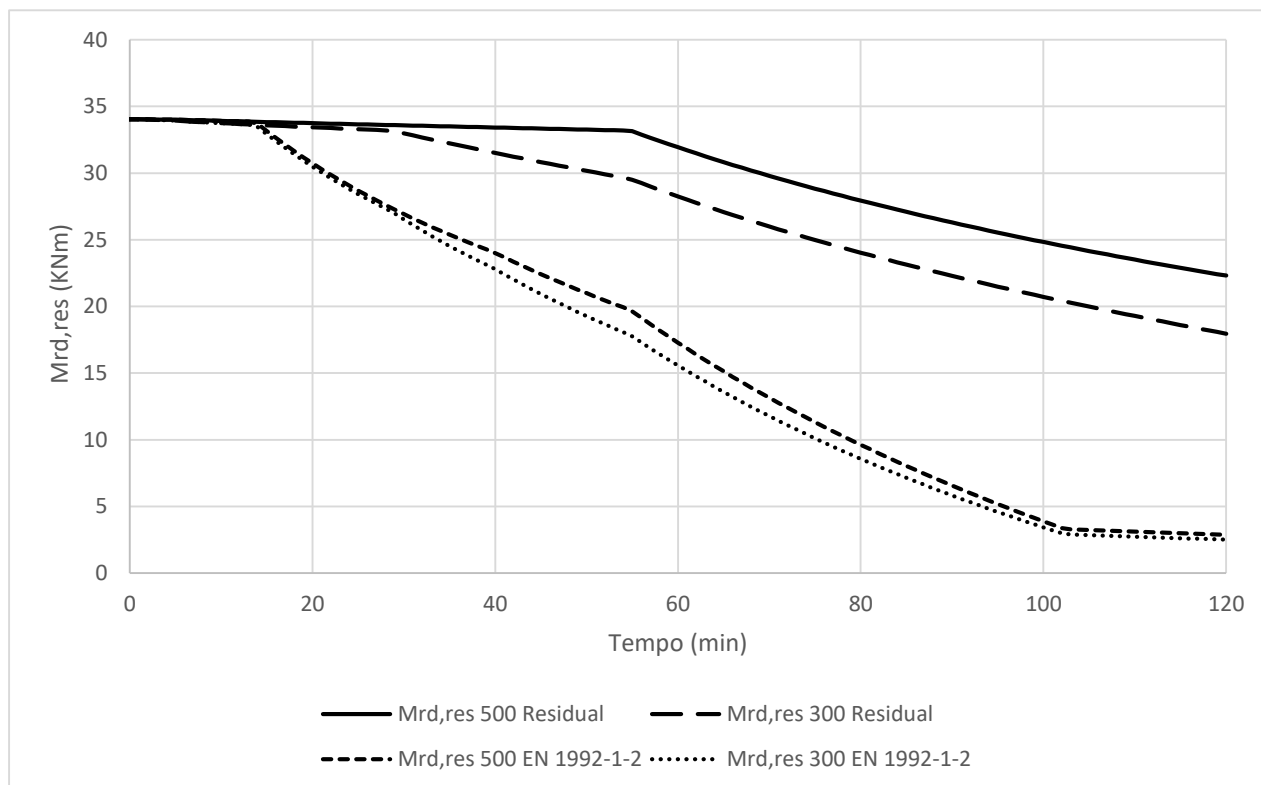


Figura 4.7 – Comparação da relação $M_{rd,res}/t$ para a viga em estudo

4.2.3 Laje

Apresenta-se uma laje como a apresentada na figura sujeita a momentos apenas em uma direção:

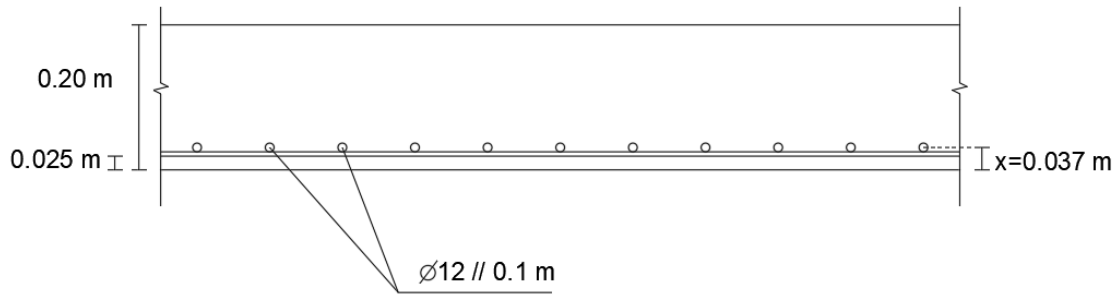


Figura 4.8 – Corte da laje em estudo

Será considerado $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$ e $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$.

À temperatura ambiente:

$$F_s = A_{aço} \cdot f_{yd} = 11,31 \times 10^{-4} \cdot \frac{400}{1,15} \times 10^3 = 393,39 \text{ KN}$$

$$F_c = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot x \cdot 1 \cdot \frac{20}{1,5} \times 10^3 = 10666x \text{ KN}$$

$$x = \frac{F_s}{F_c} = \frac{139,49}{3200} = 0,0369 \text{ m}$$

$$z = d - 0,4x = (0,2 - 0,039) - 0,4 \cdot 0,0369 = 0,146 \text{ m}$$

$$M_{rd} = F_s \cdot z = 139,49 \cdot 0,244 = 57,53 \text{ KNm}$$

Temperatura do fogo:

$$\begin{aligned} \theta_g &= 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) = \\ &= 20 + 345 \log_{10}(8 \cdot 60 + 1) = 945,34 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Determinação da temperatura atingida na armadura

Sendo o fluxo uniaxial: $\theta_x = n_w \cdot n_x \cdot \theta_f$

$$n_w = 1 - 0.0616t_w^{-0.88} = 1 - 0.0616 \cdot 1^{-0.88} = 0.938 \quad (2.32)$$

$$n_x = 0.18 \ln u_x - 0.81$$

$$u_x = \frac{at}{a_c x^2}, \text{ como } a = a_c, u_x = \frac{t}{x^2} = 657.46$$

$$n_y = n_x = 0.18 \ln(657.46) - 0.81 = 0.358$$

$$\theta_{barras} = 0.938 \cdot 0.358 \cdot 945.34 = 317.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$k_s(\theta)$ segundo a EN1992-1-2:

$$\theta_{barras} = 317.5 \rightarrow k_s(317.5) = 0.7 - 0.3 \cdot (317.5 - 400) = 0.78$$

$k_s(\theta)$ segundo a resistência residual apresentada na figura (3.13):

$$\theta_{barras} = 317.5 \rightarrow k_s(\theta) = 1$$

Determinação da secção de betão reduzida

Profundidade das isotérmicas de 300°C e 500°C:

$$n_x' = \frac{\theta}{n_w \cdot \theta_f} \rightarrow n_{x500}' = \frac{500}{0.938 \cdot 317.5} = 0.564 \quad (2.34)$$

e,

$$n_x' = \frac{\theta}{n_w \cdot \theta_f} \rightarrow n_{x300}' = \frac{300}{0.938 \cdot 317.5} = 0.338$$

Tendo então:

$$x' = \sqrt{\frac{t}{e^{\left(\frac{n_x+0.81}{0.18}\right)}}} \rightarrow x'_{500} = \sqrt{\frac{1}{e^{\left(\frac{0.564+0.81}{0.18}\right)}}} = 0.022 \text{ m}$$

e,

$$x' = \sqrt{\frac{t}{e^{\left(\frac{n_x+0.81}{0.18}\right)}}} \rightarrow x'_{300} = \sqrt{\frac{1}{e^{\left(\frac{0.338+0.81}{0.18}\right)}}} = 0.041 \text{ m}$$

As resistências residuais serão então:

Isotérmica 500°C, $k_s(\theta)$ segundo EN 1992-1-2

$$F_s = A_{aço} \cdot f_{yd} \cdot k_s(\theta) = 4.01 \times 10^{-4} \cdot \frac{400}{1.15} \times 10^3 \cdot 0.78 = 307.83 \text{ KN}$$

$$F_c = 0.8 \cdot x \cdot b_{fi} \cdot f_{cd} = 0.8 \cdot x \cdot 1 \cdot \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 10666x \text{ KN}$$

$$x = \frac{F_s}{F_c} = \frac{307.83}{10666} = 0.0288 \text{ m}$$

$$z = d_{fi} - 0.4x = (0.2 - 0.039) - 0.4 \cdot 0.0436 = 0.149 \text{ m}$$

$$Mrd_{fi} = F_s \cdot z = 307.83 \cdot 0.149 = 46 \text{ KNm}$$

Isotérmica 500°C, $k_s(\theta)$ segundo resistência residual na figura (3.13)

$$F_s = A_{aço} \cdot f_{yd} \cdot k_s(\theta) = 4.01 \times 10^{-4} \cdot \frac{400}{1.15} \times 10^3 \cdot 1 = 393.39 \text{ KN}$$

$$F_c = 0.8 \cdot x \cdot b_{fi} \cdot f_{cd} = 0.8 \cdot x \cdot 1 \cdot \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 10666x \text{ KN}$$

$$x = \frac{F_s}{F_c} = \frac{393.39}{10666} = 0.0369 \text{ m}$$

$$z = d_{fi} - 0.4x = (0.2 - 0.039) - 0.4 \cdot 0.0369 = 0.146 \text{ m}$$

$$Mrd_{res} = F_s \cdot z = 393.39 \cdot 0.146 = 57.53 \text{ KNm}$$

Isotérmica 300°C, $k_s(\theta)$ segundo EN 1992-1-2

$$F_s = A_{aço} \cdot f_{yd} \cdot k_s(\theta) = 4.01 \times 10^{-4} \cdot \frac{400}{1.15} \times 10^3 \cdot 0.78 = 307.83 \text{ KN}$$

$$F_c = 0.8 \cdot x \cdot b_{fi} \cdot f_{cd} = 0.8 \cdot x \cdot 1 \cdot \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 10666x \text{ KN}$$

$$x = \frac{F_s}{F_c} = \frac{307.83}{10666} = 0.0288 \text{ m}$$

$$z = d_{fi} - 0.4x = (0.2 - 0.041) - 0.4 \cdot 0.0288 = 0.147 \text{ m}$$

$$Mrd_{res} = F_s \cdot z = 307.83 \cdot 0.147 = 34.04 \text{ KNm}$$

Isotérmica 300°C, $k_s(\theta)$ segundo resistência residual na figura (3.13)

$$F_s = A_{aço} \cdot f_{yd} \cdot k_s(\theta) = 4.01 \times 10^{-4} \cdot \frac{400}{1.15} \times 10^3 \cdot 1 = 393.39 \text{ KN}$$

$$F_c = 0.8 \cdot x \cdot b_{fi} \cdot f_{cd} = 0.8 \cdot x \cdot 1 \cdot \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 10666x \text{ KN}$$

$$x = \frac{F_s}{F_c} = \frac{393.39}{10666} = 0.0369 \text{ m}$$

$$z = d_{fi} - 0.4x = (0.2 - 0.041) - 0.4 \cdot 0.0369 = 0.144 \text{ m}$$

$$Mrd_{res} = F_s \cdot z = 307.83 \cdot 0.144 = 34.04 \text{ KNm}$$

Tendo em conta a diminuição da secção resistente e a temperatura máxima atingida pela armadura, para $t = 60$ pode-se atribuir a classe de dano 2 (capítulo 3.4).

Apresenta-se de seguida a evolução da resistência residual da laje em estudo em função da exposição à curva incêndio padrão até $t = 120 \text{ min}$.

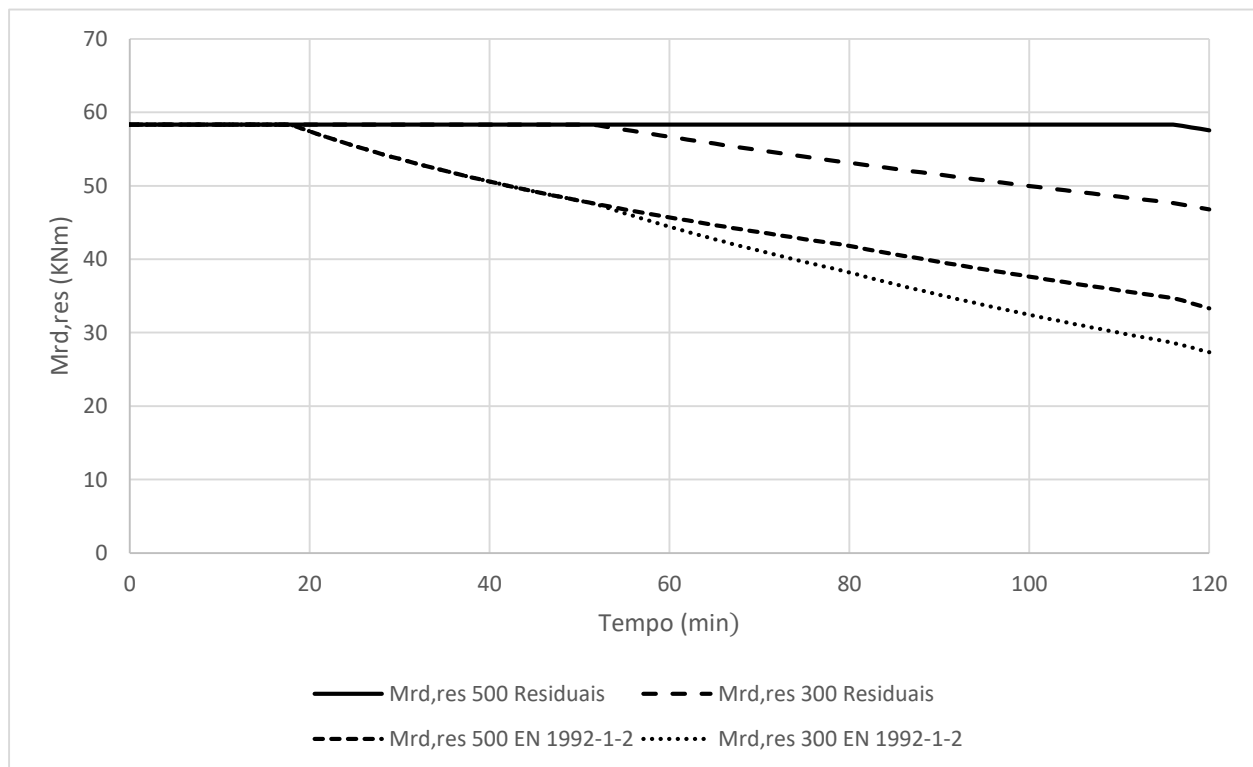


Figura 4.9 – Comparação da relação $M_{rd,res}$ /tempo para a laje em estudo

4.2.4 Resistência residual de uma viga sabendo a profundidade da isotérmica

Apresenta-se a mesma viga estudada no ponto 4.2.2 tendo sido determinada a isotérmica 300°C após incêndio:

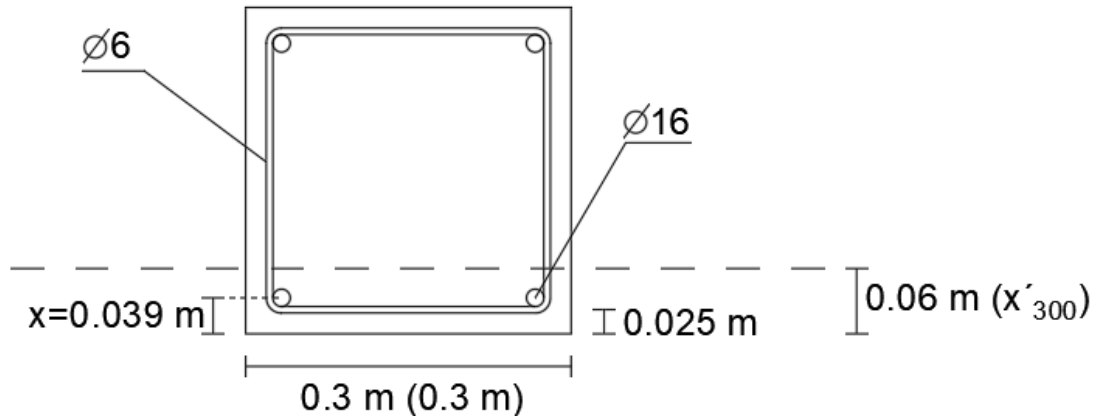


Figura 4.10 – Corte transversal da viga

$x_{300} = 0,06\text{ m}$ (esta profundidade pode ser determinada de várias formas como por ex. via inspeção visual (capítulo 3.1.1) ou com base em ensaios como os apresentados no capítulo 3.3)

A resistência residual deste elemento será calculada atendendo á profundidade da isotérmica 300°C e $k_s(\theta)$ segundo resistência residual na figura (3.4).

Determinação do tempo de exposição à curva incêndio padrão

Atendendo à expressão obtida na figura 2.16:

$$t = 9563 \cdot x_{300}^2 + 323,98 \cdot x'_{300} + 1,7584 \rightarrow t = 9563 \cdot 0,06^2 + 323,98 \cdot 0,06 + 1,7584 = 55 \text{ min}$$

$$\begin{aligned} \theta_g &= 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) = \\ &= 20 + 345 \log_{10}(8 \cdot 55 + 1) = 932,33 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$n_w = 1 - 0,0616t_w^{-0,88} = 1 - 0,0616 \cdot \left(\frac{55}{60}\right)^{-0,88} = 0,933$$

$$n_x = 0,18 \ln u_x - 0,81$$

$$u_x = \frac{at}{a_c x^2}, \text{ como } a = a_c, u_x = \frac{t}{x^2} = 602,67$$

$$n_y = n_x = 0,18 \ln(602,67) - 0,81 = 0,342$$

$$\theta_{barras} = (0,933 \cdot (2 \cdot 0,342 - 2 \cdot 0,342^2)) + 2 \cdot 0,342 \cdot 932,33 = 501,05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{barras} = 501.05 \rightarrow k_s(501.05) = 1 - 0.28 \cdot \frac{501.05 - 500}{200} = 0.99$$

$$F_s = A_{aço} \cdot f_{yd} \cdot k_s(\theta) = 4.01 \times 10^{-4} \cdot \frac{400}{1.15} \times 10^3 \cdot 0.99 = 139.66 \text{ KN}$$

$$F_c = 0.8 \cdot x \cdot b_{fi} \cdot f_{cd} = 0.8 \cdot x \cdot (0.3 - 0.06 \cdot 2) \cdot \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 1926.23x \text{ KN}$$

$$x = \frac{F_s}{F_c} = \frac{139.66}{1926.23} = 0.072 \text{ m}$$

$$z = d_{fi} - 0.4x = (0.3 - 0.06) - 0.4 \cdot 0.072 = 0.211 \text{ m}$$

$$Mrd_{res} = F_s \cdot z = 139.66 \cdot 0.216 = 29.5 \text{ KNm}$$

4.3 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Apesar de teórico-prático este caso de estudo permite tirar algumas conclusões importantes.

Em primeiro lugar, tendo em conta a comparação entre a curva incêndio padrão e a obtida para o local em estudo na figura 4.3, percebe-se a importância de uma boa definição da severidade do incêndio. Neste caso, a consideração das características da envolvente e da carga de incêndio disponível resultam não só numa diferença da possível temperatura máxima considerada, como no fluxo de calor e taxa de aquecimento. Para $t = 20$ (correspondendo ao tempo no qual a temperatura máxima é atingida na curva paramétrica) observa-se uma diferença de 204°C ou 35% em relação ao valor obtido na curva ISO 834. Observando-se um fluxo de calor e taxa de aquecimento inferiores aos da ISO 834, os perfis de temperatura apresentados na EN 1992-1-2 e o método simplificado de Wickström podem ser aplicados embora as profundidades obtidas sejam superiores à realidade.

Quanto à resistência residual (figuras 4.5, 4.7 e 4.9) é observado um desfasamento considerável entre os valores obtidos considerando as diferentes propriedades mecânicas expostas na EN 1992-1-2 (capítulo 2.6) e as obtidas experimentalmente (capítulo 3.2), podendo-se concluir que as propriedades residuais dos materiais não devem ser ignoradas.

Observa-se a ocorrência de um pico de queda da resistência residual na viga e laje que ocorre quando a temperatura máxima atingida pelas armaduras se encontra acima dos 500°C. Isto sugere que a temperatura máxima atingida pelas armaduras durante o incêndio será um fator importante na resistência residual. Isto é consistente com as conclusões retiradas por Kodur (2015). O mesmo facto não se observa no pilar, explicado por este estar apenas sujeito a esforço axial.

Conclui-se também que a influência da escolha entre a isotérmica de 300°C ou 500°C apresenta mais impacto na resistência residual do pilar sendo a sua influência na viga e laje substancialmente inferior. Comparando a utilização da isotérmica 300°C com a de 500°C observam-se perdas médias de resistência residual de 24,67% no caso do pilar, 9.67% na viga e de 5.18% na laje. Tendo isto em conta aconselha-se a utilização da isotérmica 300°C para vigas e lajes indo de acordo com os estudos referenciados no capítulo 3.2. Quanto aos pilares, tendo em conta os resultados obtidos por Kodur (2013), é razoável a consideração da isotérmica 500°C.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÃO

Tendo em conta a conjuntura atual da engenharia civil e da importância de uma utilização racional de recursos, processos que promovam o aumento do ciclo de vida de uma estrutura mantendo um nível aceitável de características para a sua utilização devem ser considerados.

No caso da reparação após incêndio a determinação da sua possibilidade/viabilidade é um processo complexo. O número de fatores a ter em conta, as limitações dos Eurocódigos aplicáveis e a falta de um *standard* para a determinação da resistência residual contribuem para este facto. A metodologia apresentada nesta dissertação incide sobre este problema, oferecendo uma abordagem sistemática ao problema.

A recolha de informação, conhecimento dos danos causados na estrutura pelo incêndio, suas causas e efeitos são um passo importante neste processo, permitindo uma rápida identificação de zonas na estrutura em que uma avaliação mais aprofundada é necessária. Esta avaliação, como demonstrado no caso de estudo, depende de uma boa definição dos efeitos da temperatura no betão e no aço podendo estes ser determinados através de métodos diretos e/ou indiretos. De modo geral, uma aplicação combinada destes dois métodos como a apresentada no ponto 4.2.4 apresenta uma boa relação custo/benefício. Referência para os ensaios propostos por Felicetti (capítulo 3.3) que permitem a determinação de isotérmicas de forma rápida e com um nível aceitável de confiança.

O produto final desta avaliação, na forma de uma classificação de danos, será então uma ferramenta essencial para o processo de tomada de decisão quanto á reparação.

No entanto, é importante lembrar que apesar da resistência residual ter um papel importante da viabilidade de qualquer reparação, não será o único fator a ter em conta. Outros danos que não na estrutura de betão (equipamentos, instalações elétricas etc.), fatores estéticos ou até uma potencial mudança de utilização do edifício (devido á magnitude dos danos causados pelo o incêndio) podem ser condicionantes nesta tomada de decisão.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Futuros trabalhos poderiam ter como foco o desenvolvimento de ferramentas para a determinação da resistência residual como por exemplo programas que combinem a elaboração de curvas paramétricas para um local em estudo e os perfis de temperatura desenvolvidos em elementos. Estas ferramentas em conjunto com métodos de ensaio capazes de determinar pontos de referência para temperaturas, permitem uma rápida e mais exata determinação das resistências residuais agilizando o processo de decisão quanto às reparações.

Outras investigações poderiam incidir sobre o estudo da aplicabilidade do método simplificado das zonas para o cálculo da resistência residual. Apesar de ser apenas apresentado nesta dissertação (devido à falta de referências), a sua aplicação seria interessante devido à possibilidade da consideração de efeitos de segunda ordem.

BIBLIOGRAFIA

ALONSO, C. - Assessment of post-fire reinforced concrete structures: Determination of depth of temperature penetration and associated damage. In Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II. London: Taylor & Francis Group, 2008. ISBN 978 0 415-46850-3.

AZHARI, F. et al - Post-fire mechanical response of ultra-high strength (Grade 1200) steel under high temperatures: Linking thermal stability and microstructure. Thin-Walled Structures. ISSN 0263-8231. Vol. 119, Out. 2017, p. 114-125.

CABRITA NEVES, I., Rodrigues, J. P. C., Loureiro, A. P. - Mechanical properties of reinforcing and prestressing steels after heating. Journal of Materials in Civil Engineering. ISSN 1943-5533. Vol. 8, nº 4, Nov. 1996, p. 189-194.

CHANA, P. e PRICE, B. – The Cardington Fire Test. Concrete. ISSN 0010-5317. Vol 37, nº1 (2003). p. 28-33.

COLOMBO, M.; FELICETTI, R. - New NDT techniques for the assessment of fire-damaged concrete structures. Fire Safety Journal. ISSN 0379-7112. Volume 42, nº 6–7 (2007). p. 461-472.

CONCRETE SOCIETY - Assessment and Repair of Fire Damaged Concrete Structures, Technical Report nº68. 2008.

EN 1504. 2004, Products and systems for the repair and protection of concrete structures – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity, Part 1: Definitions, Part 2: Surface protection systems for concrete, Part 3: Structural and non-structural repair, Part 4: Structural bonding, Part 5: Concrete injection, Part 6: Grouting to anchor reinforcement or to fill external voids, Part 7: Reinforcement corrosion protection, Part 8: Quality control and evaluation of conformity, Part 9: General principles for the use of products and systems, Part 10: Site application of products and systems and quality control of the works. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 1992-1-1. 2010, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 1992-1-2. 2010, Eurocode 2: Design of concrete structures – Parte 1-2: General rules. Structural fire design. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 1991-1-2. 2010, Eurocode 1- Actions on structures. Part 1-2: General actions- Actions on structures exposed to fire. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 1995-1-2. 2004, Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 12390-3. 2009, Testing hardened concrete. Compressive strength of test specimens. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 12504-2. 2012, Testing concrete in structures. Non-destructive testing. Determination of rebound number. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 12504-4. 2004, Testing concrete. Determination of ultrasonic pulse velocity. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN ISO 6506-1; 4. 2014, Metallic materials - Brinell hardness test – parts 1 to 4. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN ISO 16859-1; 3. 2015, Metallic materials - Leeb hardness test - Parts 1 to 3. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (fib) - Fire design of concrete structures: materials, structures and modeling – State-of-art report. Lausanne, fib 2007. 97p. (Bulletin d'information; 38). ISBN 978-2-88394-078-9.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (fib) - Fire design of concrete structures: structural behavior and assessment – State-of-art report. Lausanne, fib 2008. 209p. (Bulletin d'information; 46). ISBN 978-2-88394-086-4.

FELICETTI R. - Assessment of the Fire Damaged Concrete via the Hammer-Drill Pulse Transmission Technique. In Nondestructive Testing of Materials and Structures:RILEM Bookseries. ISSN 2211-0852. Vol 6 (2011). p.205-212.

FELICETTI R.; GAMBAROVA P.G. - Assessment of the Residual Strength of Fire-Damaged Steel-Rebars. Nondestructive Testing of Materials and Structures:RILEM Bookseries. ISSN 2211-0852. Vol 6 (2011). p.213-218.

FRANSSEN, JM. - Plastic analysis of concrete structures subjected to fire. In Proceedings of the workshop on fire design of concrete structures: What now? What next?. Brescia: Starrylink, 2004. ISBN 88-88847-91-X. p. 133-146.

FRANSSEN, JM. e VILA REAL, P. (2010) - Fire design of steel structures. 1ª edição. ECCS - European Convention for Constructional Steel Work, 2010. ISBN 978-92-9147-099-0.

GAVINA, Rui O.R.P. – Desenvolvimento de ferramentas BIM no âmbito do cálculo estrutural em situação de incêndio. ISEP 2004. Tese de mestrado.

GONÇALVES, M.C. – Reabilitação de Estruturas de Betão Armado após Incêndio. Coimbra: Universidade de Coimbra. Palestra 22 Jan.2016.

HAGER, Izabela G. – Colour Change in Heated Concrete. *Fire Technology*. ISSN 1572-0899. Vol. 50, nº4 (2014). p. 945-958.

HAGER, Izabela G. – Comportement à haute température des bétons à haute performance – évolution des principales propriétés mécaniques. Paris: [s.n], 2004. Tese de doutoramento.

HERTZ, K. D. – Concrete strength for fire safety design. *Magazine of Concrete Research*. ISSN 0024-9831. Vol. 57, nº8 (2005). p. 445-453.

JIANG, FC. et al. – Nonlinear analysis of load-carrying capacity for bar buckling based on arc-length method. *Building Science*. ISSN 1002-8528. Vol. 22 nº11 (2011). p. 9-12.

KALIFA, P. et al. - Spalling and pore pressure in HPC at high temperatures. *Cement and Concrete Research*. ISSN 0008-8846. Vol. 30, nº 12 (1999), p. 1915-1927.

KHOURY, G.A. - Polypropylene fibres in heated concrete. Part 2: Pressure relief mechanisms and modelling criteria. In *Magazine of Concrete Research*. ISSN 0024-9831. Vol. 60, nº 3 (2008). p. 189-204.

KODUR, V. K.; AGRAWAL, A. - Critical Factors Governing the Residual Response of Reinforced Concrete Beams Exposed to Fire. *Fire Technology*. DOI: 10.1007/s10694 015-0527-5.

KODUR, V.K.R. et al. - Simplified approach for evaluating residual strength of fire-exposed reinforced concrete columns. *Materials and Structures*. ISSN 1871-6873. Vol. 46, nº12 (2013). p. 2059-2075.

LOPES, Abílio J. S. - Avaliação do risco de incêndio em edifícios. Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa, 2004. Tese de mestrado.

LOPES, Marinho – O Fogo. [Consult. 15 Abril 2017]. Disponível em: www.sophiaofnature.wordpress.com/2012/12/24/o-fogo/#more-432

NARANAYAN R.S.; BEEBY A. - Designer's Guide to EN1992-1-1 and EN1992-1-2. London: Thomas Telford, 2005. ISBN: 9780727731050.

POON. CS. et al. – Strength and durability recovery of fire-damaged concrete after post-fire-curing. *Cement and Concrete Research*. ISSN 0008-8846. Vol. 31, nº9 (2001). p. 1307-1318.

RODRIGUES, J.P. – Reabilitação e Reforço de Estruturas – Aula 22: Estruturas de betão em caso de incêndio. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2011/2012.

RODRIGUES, J.P. - Recuperação de estruturas danificadas por Incêndio - propriedades mecânicas residuais do aço e do betão. Coimbra [s.n], 1994. Tese de mestrado.

RODRIGUES, J.P. e CORREIA, A.M. - Técnicas De Avaliação Das Propriedades Mecânicas Residuais Do Betão Após Incêndio. Simpósio Ibero-Americano "O Betão Nas Estruturas", Coimbra, 2005.

SANTOS, Cristina Calmeiro dos - Propriedades Mecânicas Residuais Após Incêndio de Betões Normais. Coimbra [s.n.], 2012. Tese de doutoramento.

SCHNEIDER U. – Repairability of Fire Damaged Structures, CIP W 14 report. Fire Safety Journal. ISSN 0379-7112, Vol. 16, nº 4 (1990). p. 251-336.

TAO, Z. - Mechanical properties of prestressing steel after fire exposure. Materials and Structures. ISSN 1359-5997. Vol.48, nº9 (2015). p. 3037-3047.

TOVEY, AK. e CROOK, RN. – Experience of fires in concrete structures – evaluation and repair of the damage to concrete. In Special Publication 92. Detroit: American Concrete Institute, 1986. ISBN 9780870317217. p. 1-14.

VASSART, O. et al. (2008) - Dissemination of structural fire safety engineering knowledge throughout Europe. Research Fund for Coal and Steel. Brussels: European Comission, 2010. ISBN 978-92-79-14597-1.

VILA REAL, Paulo - Incêndio em estruturas metálicas: cálculo estrutural. 1ª Edição. Amadora: Orion 2003. ISBN 972-8620-7.

WICKSTRÖM, U. - A very simple method for estimating temperatures in fire exposed structures. In New Technology to Reduce Fire Losses and Costs. London: Elsevier Applied Science, 1986. ISBN 1851660631 p. 186-94.

ANEXOS

Anexo A

Tabela A.1 – Classes de dano após incêndio, caracterização e descrição geral (CIP W14 report, 1990)

Classe	Designação	Descrição
1	Dano cosmético superficial	Caracterizado por depósitos de fuligem e descoloração. Em muitos casos a fuligem pode ser lavada. Pode verificar-se distribuição não uniforme de depósitos de fuligem. Permanentes descolorações em superfícies de alta qualidade podem obrigar à demolição. O odor é incluído nesta classe; pode ser difícil de remover, mas existem compostos químicos para a sua eliminação.
2	Dano técnico superficial	Caracterizado por danos em tratamentos superficiais e revestimentos. Pequena extensão de " <i>spalling</i> " do betão ou corrosão em metais não revestidos. Superfícies pintadas podem ser reparadas. Superfícies revestidas a plástico precisam de substituição do revestimento. pequeno " <i>spalling</i> " pode ficar ou pode ser restucado.
3	Dano estrutural superficial	Caracterizado por alguma fissuração e " <i>spalling</i> " do betão, superfícies de madeira ligeiramente carbonizadas, algumas deformações em superfícies metálicas ou moderados estragos por corrosão. Danos do tipo dos incluídos na classe 2, podendo ser reparados de modo semelhante.
4	Dano estrutural na secção resistente (interior)	Caracterizado por grande fissuração do betão e " <i>spalling</i> " em almas de vigas em I, deformação de banzos e carbonização parcial de secções de membros de construção de madeira, degradação de plásticos. Os danos em muitos casos podem ser reparados conservando-se a estrutura existente. dentro desta classe estão ainda incluídos os casos em que a capacidade de carga é reduzida, ou em alterações dimensionais podem impedir o uso funcional do edifício. isto acontece em particular em construções de aço.
5	Dano estrutural de membros e componentes	Caracterizado por danos estruturais severos dos membros e componentes, debilitação de materiais e grandes deformações. As construções de betão são caracterizadas por extenso " <i>spalling</i> ", exposição da armadura e debilitação dos membros nas zonas sujeitas à compressão. Nas estruturas de aço podem surgir deformações extensas e permanentes devido à diminuição da capacidade de carga causada pelas elevadas temperaturas. as estruturas de madeira podem ter quase todas as secções carbonizadas. degradação das propriedades dos materiais pode ocorrer depois do incêndio. A classe de danos implicará usualmente a demolição.

Tabela A.2 – Classificação de danos em pilares de betão (CIP W14 report, 1990)

Classe	Designação	Descrição
1	Dano cosmético superficial	Depósitos de fuligem e talvez descolorações. Betão não afetado, verificando-se apenas alguma fissuração insignificante, " <i>spalling</i> " do gesso ou do acabamento. Concentração de ácido variável.
2	Dano técnico superficial	Depósitos de fuligem. Ocorrência de alguma fissuração. Revestimentos superficiais (gesso, pintura, revestimentos plásticos) pontualmente danificados. " <i>Spalling</i> " pontual no betão sem exposição da armadura. Descoloração do betão - cor de rosa/pálida. concentração de ácido variável.
3	Dano estrutural superficial	Depósitos de fuligem. Revestimentos superficiais em geral totalmente danificados. Considerável " <i>spalling</i> " ao longo e junto aos bordos, deixando a armadura parcialmente exposta mantendo-se, todavia, a ligação entre o betão e a armadura. Descoloração do betão (pálida). não se verificam problemas de encurvadura. moderada a elevada concentração de ácidos.
4	Dano estrutural na secção resistente (interior)	" <i>Spalling</i> " e fissuras ao longo de todo o pilar com a maior parte da armadura exposta. A ligação entre o betão e a armadura pode apresentar-se pontualmente destruída. Aparecimento de deformações menores. A estabilidade do elemento não está seriamente afetada. Maiores concentrações de ácido podem ocorrer.
5	Dano estrutural de membros e componentes	Extensas zonas de " <i>spalling</i> " significativo, reduzindo a secção resistente. Quase todos os varões de armadura expostos e a ligação entre o betão e a armadura está extensamente quebrada. Pequena, mas de qualquer modo observável deformação/encurvadura do pilar, indicando redução da capacidade de carga.

Tabela A.3 – Classificação de danos em vigas/vigotas de betão (CIP W14 report, 1990)

Classe	Designação	Descrição
1	Dano cosmético superficial	Depósitos de fuligem e talvez descolorações. Betão não afetado, verificando-se apenas alguma fissuração insignificante, " <i>spalling</i> " do gesso ou do acabamento. Concentração de ácido variável.
2	Dano técnico superficial	Depósitos de fuligem. Ocorrência de alguma fissuração. Revestimentos superficiais (gesso, pintura, revestimentos plásticos) pontualmente danificados. " <i>Spalling</i> " pontual no betão sem exposição da armadura. Descoloração do betão - cor de rosa/pálida. concentração de ácido variável.
3	Dano estrutural superficial	Depósitos de fuligem. Revestimentos de superfície quase totalmente danificados. Considerável " <i>Spalling</i> " ao longo dos bordos, exposição da armadura, a ligação entre o betão e a armadura está intacta. Descoloração do betão (pálido). Deflexões não significativas. concentração de ácido moderada a alta.
4	Dano estrutural na secção resistente (interior)	Depósito de fuligem. Os revestimentos superficiais desapareceram. Estribos e camada de varões de armadura de momentos positivos exposta extensamente. Na armadura exposta, a ligação entre o betão e a armadura está totalmente destruída em cerca de 50% da superfície dos varões. só visíveis pequenas deformações, mas sem redução de estabilidade da viga. aparecimento de pronunciada fissuração. ocorrência de elevadas concentrações de ácido.
5	Dano estrutural de membros e componentes	Extenso " <i>spalling</i> " causa redução significativa de secção resistente. Quase toda a camada de varões de armadura de momentos positivos está exposta. Perda total de ligação entre o betão e a armadura em comprimentos consideráveis. Deflexões facilmente visíveis, mas sem comprometer o elemento. é visível uma profunda fissuração. cor do betão cinzento/pálido.

Tabela A.4 – Classificação de danos em pavimentos/paredes de betão (CIP W14 report, 1990)

Classe	Designação	Descrição
1	Dano cosmético superficial	Depósitos de fuligem e talvez descolorações. Betão não afetado, verificando-se apenas alguma fissuração insignificante, " <i>spalling</i> " do gesso ou do acabamento. Concentração de ácido variável.
2	Dano técnico superficial	Depósitos de fuligem. Ocorrência de alguma fissuração. Revestimentos superficiais (gesso, pintura, revestimentos plásticos) pontualmente danificados. " <i>Spalling</i> " pontual no betão sem exposição da armadura. Descoloração do betão - cor de rosa/pálida. concentração de ácido variável.
3	Dano estrutural superficial	Depósitos de fuligem. Tratamentos superficiais em geral totalmente danificados. Extensas áreas de " <i>spalling</i> " na superfície do betão com os varões de armadura principal expostos. Ligações entre o betão e a armadura apenas pontualmente danificada. pontualmente o elemento pode deixar atravessar chamas ou gases. não ocorrem defleções ou encurvadura significativas. moderada a elevada concentração de ácido.
4	Dano estrutural na secção resistente (interior)	Depósitos de fuligem em quantidades variáveis. Revestimentos superficiais, caso existam (gesso, pintura, etc.) severamente danificados ou desaparecem. A maioria da armadura está exposta, e verifica-se perda de ligação entre o betão e armadura em largas zonas. considerável " <i>spalling</i> ", de forma variável, incluindo pedaços de betão presos à armadura. pontualmente o elemento pode deixar atravessar as chamas e os gases. Defleções locais podem ocorrer, sem que a estabilidade do elemento se mostre enfraquecida. devem tomar-se medidas de segurança (suporte, escoramento) em zonas pontuais antes de se proceder a qualquer trabalho. moderado a elevada concentração de ácido.
5	Dano estrutural de membros e componentes	Armadura exposta e ligação do betão à armadura destruída em grandes zonas. Betão parcialmente fissurado na camada interior junto às armaduras, e armaduras encurvadas. Em alguns sítios o betão sofreu " <i>spalling</i> ". Mudanças na secção resistente ocorrem e deformações/deslocamentos pontuais da armadura são visíveis. considerável deflecção/encurvadura ou mesmo deslocamento em todo o membro/componente também pode ocorrer.

Tabela A.5 – Classificação de danos em vigas/vigotas de betão pré-esforçado
(CIP W14 report, 1990)

Classe	Designação	Descrição
1	Dano cosmético superficial	Depósitos de fuligem e talvez descolorações. Betão não afetado, verificando-se apenas alguma fissuração insignificante, " <i>spalling</i> " do gesso ou do acabamento. Concentração de ácido variável.
2	Dano técnico superficial	Depósitos de fuligem. Ocorrência de alguma fissuração. Revestimentos superficiais (gesso, pintura, revestimentos plásticos) pontualmente danificados. " <i>Spalling</i> " pontual no betão sem exposição da armadura. Descoloração do betão - cor de rosa/pálida. concentração de ácido variável.
3	Dano estrutural superficial	Depósito de fuligem. Os revestimentos (pintura, cobertura plástica, etc.), em geral desaparecem- verifica-se " <i>spalling</i> " com separação de camadas ao longo dos bordos em certas zonas. As amarrações e armaduras da camada inferior dos aços de pré-esforço (cabos, varões) estão pontualmente expostos, sem causar rotura na ligação betão/armadura. os depósitos de fuligem podem apresentar variação de composição e espessura. betão descolorado e com pequena fissuração. não se verificam defleccões significativas. moderada a elevada concentração de ácido.
4	Dano estrutural na secção resistente (interior)	Considerável " <i>spalling</i> " nas superfícies laterais e inferior. As amarrações encontram-se expostas, bem como a camada inferior do aço de pré-esforço. No mínimo de 50% da superfície dos varões do aço pré-esforçado mantém a sua ligação com o betão intacta. podem ocorrer pequenas defleccões; não sendo visível que a instabilidade seja afetada. moderada, talvez elevada concentração de ácidos.
5	Dano estrutural de membros e componentes	Extensos danos com considerável " <i>spalling</i> " na parte inferior e/ou no banzo, com exposição de todos os varões de aço de pré-esforço da camada inferior de armadura. Nas vigas I o " <i>spalling</i> " será mais importante nas almas mais esbeltas. Pontualmente o elemento é atravessado pelas chamas e gases. pequena deflecção, e profunda fissuração poderão significar redução na capacidade de carga. existem perigo de colapso. imediatas medidas de segurança (suporte, escoramento) devem ser tomadas, antes que qualquer trabalho de recuperação possa ser feito.

Tabela A.6 – Classificação de danos em estruturas de betão leve (CIP W14 report, 1990)

Classe	Designação	Descrição
1	Dano cosmético superficial	Depósito de fuligem. Descoloração. Baixa concentração de ácidos. Tratamentos superficiais ou revestidos não se apresentam danificados.
2	Dano técnico superficial	Depósitos de fuligem. Descoloração. Baixas concentrações de ácidos. Gesso, pintura ou outros revestimentos superficiais estão total ou parcialmente destruídos. Fissuração com profundidade entre 5 e 10mm.
3	Dano estrutural superficial	Depósitos de fuligem. Moderadas concentrações de ácido. Gesso, pintura ou outros revestimentos são quase totalmente destruídos. A fissuração e o "spalling" estão limitados à camada exterior da superfície, conservando-se a capacidade de carga quase na totalidade. A armadura pode estar exposta pontualmente.
4	Dano estrutural na secção resistente (interior)	Depósitos de fuligem. Moderadas a elevadas concentrações de ácido. As fissuras alcançam cerca de 1/4 da espessura do elemento. Ocorrência de "spalling" com exposição da armadura. Verifica-se quebra da ligação na junta de assentamento dos blocos, a qual pode ser identificada pela descoloração dos blocos e presença de pó da argamassa. lajes de pavimento passam a sofrer atravessamentos de chamas e gases.
5	Dano estrutural de membros e componentes	Os elementos estruturais estão tão degradados/deformados que têm a maior parte da sua capacidade de carga perdida, ou não são mais funcionais dentro da construção/edifício. Verifica-se "spalling" extenso com exposição da armadura de reforço. Quebra da ligação entre o betão leve e a armadura. rotura por cisalhamento da armadura e do betão leve na zona de suporte das lajes. fissuras profundas. elevadas concentrações de ácido.

Tabela A.7 – Classificação de danos em estruturas de suporte em aço (CIP W14 report, 1990)

Classe	Designação	Descrição
1	Dano cosmético superficial	Depósitos de fuligem. Descoloração. Baixas concentrações de ácido. Grandes áreas de tratamentos superficiais ou revestimentos não estragados.
2	Dano técnico superficial	Depósitos de fuligem. Nalgumas zonas consideráveis concentrações de ácido. Pintura ou outros revestimentos leves parcialmente ou totalmente destruídos.
3	Dano estrutural superficial	Depósitos de fuligem. Consideráveis concentrações de ácido. A superfície do revestimento superficial está total ou parcialmente destruída. Verificam-se pequenas deformações pontuais na secção resistente, com por exemplo encurvadura em banzos esbeltos e em chapas não contraventadas.
4	Dano estrutural na secção resistente (interior)	Depósitos de fuligem. Consideráveis concentrações de ácido. Revestimentos superficial totalmente destruído; cobertura/revestimento parcial ou totalmente destruído. Mudança substância na secção resistente do perfil de aço. Banzos deformados, encurvando localmente.
5	Dano estrutural de membros e componentes	O elemento estrutural está tão deformado que perdeu a maior parte da sua capacidade de carga, ou não estará funcional dentro do edifício/construção. Severa distorção nas ligações aparafusadas, rebitadas ou soldadas. A expansão térmica destruiu as ligações. a capacidade de carga pode ser substancialmente reduzida devido ao permanente decréscimo de resistência à tração do aço e da tensão de cedência (dependendo da qualidade do aço).

Tabela A.8 – Classificação de danos em estruturas de cobertura em aço (CIP W14 report, 1990)

Classe	Designação	Descrição
1	Dano cosmético superficial	Depósitos de fuligem. Descoloração. Baixas concentrações de ácido. Grandes áreas de tratamentos superficiais ou revestimentos não estragados.
2	Dano técnico superficial	Depósitos de fuligem. Em certos lugares consideráveis concentrações de ácido. As coberturas de zinco podem estar danificadas. As coberturas de plástico podem estar danificadas (ou fundidas). Corrosão reduzida da proteção.
3	Dano estrutural superficial	Depósitos de fuligem. Consideráveis concentrações de ácido. Revestimentos superficiais da cobertura estão total ou parcialmente danificados. Pequenas deformações pontuais na secção resistente dos membros.
4	Dano estrutural na secção resistente (interior)	Depósitos de fuligem. Consideráveis concentrações de ácido. Algum revestimento superficial totalmente destruído. Substanciais alterações na secção resistente dos elementos. Membranas de proteção do vento e humidade, elementos de vedação e iluminação, estão danificados ou destruídos. Isolantes combustíveis totalmente destruídos. Os isolantes podem ser danificados pela água.
5	Dano estrutural de membros	O elemento estrutural está tão deformado que perdeu a maior parte da sua capacidade de carga, ou não estará funcional dentro do edifício/construção. Severa distorção nas ligações aparafusadas, rebitadas ou soldadas. A expansão térmica destruiu as ligações. a capacidade de carga pode ser substancialmente reduzida devido ao permanente decréscimo de resistência à tração do aço e da tensão de cedência (dependendo da qualidade do aço).

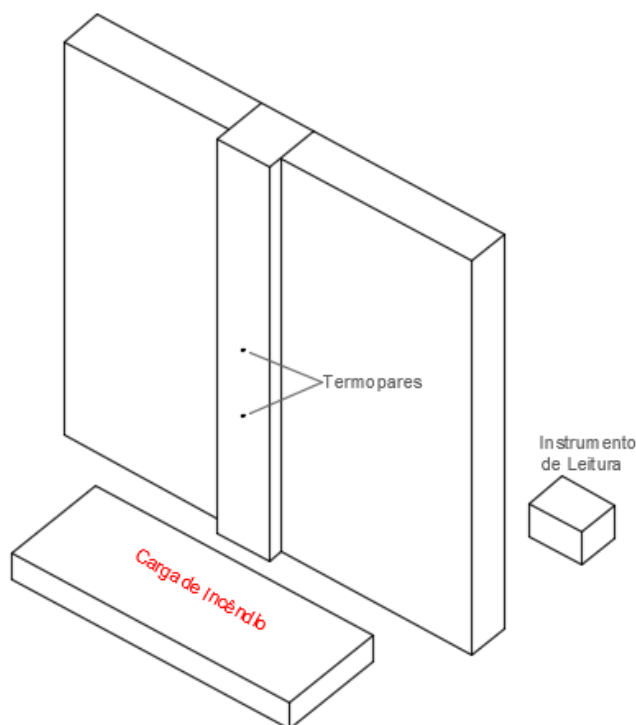
Tabela A.9 – Classificação de danos em estruturas de madeira (CIP W14 report, 1990)

Classe	Designação	Descrição
1	Dano cosmético superficial	Depósitos de fuligem. Descoloração. Baixa concentração de ácidos. Tratamentos superficiais ou revestimentos apresentam ligeiros danos.
2	Dano técnico superficial	Depósitos de fuligem. Considerável concentração de ácidos. Tratamentos/revestimentos superficiais totalmente ou parcialmente destruídos. Manchas e bolhas ocorrem. Parcial carbonização na parte de fora de superfícies não protegidas.
3	Dano estrutural superficial	Depósitos de fuligem. Todos os revestimentos estão totalmente queimados, apresentando-se a superfície da madeira carbonizada. A carbonização presumivelmente não afetará a capacidade de carga do elemento estrutural. Verificam-se alguns danos resultantes da extinção do incêndio devido a empenamento ou fissuração de retração durante a subsequente secagem.
4	Dano estrutural na secção resistente	Profundidade de carbonização suficientemente grande para reduzir a capacidade de carga.
5	Dano estrutural de membros e componentes	Grandes deformações e estragos nos suportes e ligações. Carbonização em volta dos parafusos, e por isso danos nas ligações. Parafusos frouxos. Substancial profundidade de carbonização.

Tabela A.10 – Classificação de danos em estruturas de alvenaria (CIP W14 report, 1990)

Classe	Designação	Descrição
1	Dano cosmético superficial	Depósito de fuligem. Descoloração. Superfície ou tratamentos superficiais não danificados. Baixas concentrações de ácidos.
2	Dano técnico superficial	Depósitos de fuligem. Descoloração. Baixas concentrações de ácidos. Gesso, pintura ou outros revestimentos só levemente danificados, com algumas fissuras no gesso quando existente.
3	Dano estrutural superficial	Depósitos de fuligem. Moderadas concentrações de ácido. Gesso, pintura ou outros revestimentos superficiais parcial ou totalmente destruídos. Na alvenaria de tijolo revestida com gesso, " <i>spalling</i> " e fissuração na alvenaria são insignificantes; na alvenaria de tijolo não revestida, estragos limitados à superfície exterior da alvenaria e às juntas de argamassa. capacidade de carga totalmente ou quase intacta.
4	Dano estrutural na secção resistente	Depósitos de fuligem. Moderadas a elevadas concentrações de ácido. As fissuras alcançam profundidade dentro da alvenaria. A ligação nas juntas de argamassa é destruída em grande profundidade. Os varões de armadura, se existirem estão largamente expostos.
5	Dano estrutural de membros e componentes	Os elementos estruturais estão bastante danificados/deformados, causando perda apreciável da capacidade de carga. Extenso " <i>spalling</i> " e armadura totalmente exposta. Profundas e longas fissuras, e quebra extensa nas ligações das juntas de argamassa. Podem ocorrer elevadas concentrações de ácido.

Anexo B



Esquema do Ensaio

Material / equipamentos:

- Detetor de armaduras
- Termopares e equipamento de leitura / aquisição de dados
- Caroteadora e fonte de energia
- Indicador de fenolftaleína
- Máquina fotográfica e equipamentos de medida

Plano de Trabalhos:

1. Realização de carotes de secções adjacentes de modo a determinar a resistência inicial
2. Determinação do posicionamento das armaduras da secção a ser estudada e aplicação dos termopares
3. Determinação de uma temperatura de segurança na face da secção de modo a controlar o ensaio
4. Deflagração de um incendio controlado (BSP Bombeiros Sapadores do Porto)
5. Extinção do incendio, arrefecimento da secção à temperatura ambiente e/ou com recurso a jatos de água
6. Levantamento das zonas mais afetadas através do indicador de fenolftaleína, anomalias desenvolvidas e áreas afetadas por *spalling*
7. Realização de carotes para posterior envio para laboratório

Anexo C

Resistência residual do pilar considerando isotérmica 500 e propriedades residuais

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'(500)	x'(500)	ks (θ)	Nrd,res 500 Res (KN)
0	20,000	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,000	1,000	2149,496
1	349,214	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	2129,248
2	444,505	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	2120,895
3	502,289	0,025	0,039	0,140	0,000	20,000	0,997	0,001	1,000	2114,241
4	543,887	0,025	0,039	0,332	0,000	20,000	0,939	0,002	1,000	2101,659
5	576,410	0,025	0,039	0,451	0,000	20,000	0,878	0,003	1,000	2086,317
6	603,118	0,025	0,039	0,533	0,000	20,000	0,819	0,003	1,000	2068,281
7	625,777	0,025	0,039	0,592	0,000	20,000	0,766	0,004	1,000	2048,069
8	645,455	0,025	0,039	0,637	0,000	20,000	0,719	0,005	1,000	2026,400
9	662,846	0,025	0,039	0,673	0,016	20,000	0,679	0,006	1,000	2003,949
10	678,427	0,025	0,039	0,702	0,035	33,365	0,644	0,007	1,000	1981,239
11	692,540	0,025	0,039	0,726	0,053	51,969	0,615	0,008	1,000	1958,627
12	705,436	0,025	0,039	0,746	0,068	70,186	0,590	0,009	1,000	1936,337
13	717,310	0,025	0,039	0,763	0,083	87,900	0,568	0,010	1,000	1914,501
14	728,312	0,025	0,039	0,778	0,096	105,054	0,549	0,011	1,000	1893,190
15	738,561	0,025	0,039	0,791	0,108	121,631	0,532	0,012	1,000	1872,435
16	748,153	0,025	0,039	0,803	0,120	137,630	0,517	0,013	1,000	1852,243
17	757,169	0,025	0,039	0,813	0,131	153,064	0,504	0,014	1,000	1832,607
18	765,672	0,025	0,039	0,822	0,141	167,954	0,492	0,015	1,000	1813,511
19	773,719	0,025	0,039	0,831	0,151	182,322	0,481	0,016	1,000	1794,936
20	781,355	0,025	0,039	0,838	0,160	196,194	0,471	0,016	1,000	1776,859
21	788,621	0,025	0,039	0,845	0,169	209,593	0,463	0,017	1,000	1759,257
22	795,551	0,025	0,039	0,851	0,177	222,544	0,454	0,018	1,000	1742,106
23	802,174	0,025	0,039	0,857	0,185	235,072	0,447	0,019	1,000	1725,385
24	808,517	0,025	0,039	0,862	0,193	247,198	0,440	0,020	1,000	1709,073
25	814,603	0,025	0,039	0,867	0,200	258,944	0,434	0,020	1,000	1693,149
26	820,450	0,025	0,039	0,871	0,207	270,330	0,428	0,021	1,000	1677,595
27	826,079	0,025	0,039	0,876	0,214	281,376	0,422	0,022	1,000	1662,391
28	831,503	0,025	0,039	0,880	0,221	292,098	0,417	0,023	1,000	1647,523
29	836,738	0,025	0,039	0,883	0,227	302,513	0,412	0,023	1,000	1632,974
30	841,796	0,025	0,039	0,887	0,233	312,637	0,407	0,024	1,000	1618,730
31	846,689	0,025	0,039	0,890	0,239	322,485	0,403	0,025	1,000	1604,777
32	851,427	0,025	0,039	0,893	0,245	332,069	0,399	0,025	1,000	1591,102
33	856,020	0,025	0,039	0,896	0,250	341,402	0,395	0,026	1,000	1577,695
34	860,476	0,025	0,039	0,898	0,256	350,496	0,391	0,027	1,000	1564,543
35	864,804	0,025	0,039	0,901	0,261	359,363	0,388	0,027	1,000	1551,636
36	869,010	0,025	0,039	0,903	0,266	368,012	0,384	0,028	1,000	1538,965
37	873,101	0,025	0,039	0,906	0,271	376,453	0,381	0,029	1,000	1526,520
38	877,083	0,025	0,039	0,908	0,276	384,695	0,378	0,029	1,000	1514,293
39	880,963	0,025	0,039	0,910	0,280	392,747	0,375	0,030	1,000	1502,276
40	884,744	0,025	0,039	0,912	0,285	400,617	0,373	0,031	1,000	1490,461
41	888,433	0,025	0,039	0,914	0,289	408,312	0,370	0,031	1,000	1478,842
42	892,032	0,025	0,039	0,916	0,294	415,840	0,367	0,032	1,000	1467,410
43	895,548	0,025	0,039	0,917	0,298	423,207	0,365	0,032	1,000	1456,161
44	898,982	0,025	0,039	0,919	0,302	430,419	0,362	0,033	1,000	1445,088
45	902,340	0,025	0,039	0,921	0,306	437,483	0,360	0,034	1,000	1434,186
46	905,624	0,025	0,039	0,922	0,310	444,404	0,358	0,034	1,000	1423,448
47	908,838	0,025	0,039	0,924	0,314	451,187	0,356	0,035	1,000	1412,870

48	911,984	0,025	0,039	0,925	0,318	457,838	0,354	0,035	1,000	1402,447
49	915,065	0,025	0,039	0,926	0,321	464,361	0,352	0,036	1,000	1392,175
50	918,085	0,025	0,039	0,928	0,325	470,761	0,350	0,036	1,000	1382,048
51	921,045	0,025	0,039	0,929	0,329	477,041	0,348	0,037	1,000	1372,064
52	923,947	0,025	0,039	0,930	0,332	483,207	0,346	0,037	1,000	1362,217
53	926,794	0,025	0,039	0,931	0,336	489,262	0,345	0,038	1,000	1352,504
54	929,588	0,025	0,039	0,932	0,339	495,210	0,343	0,039	1,000	1342,922
55	932,331	0,025	0,039	0,933	0,342	501,054	0,341	0,039	0,999	1333,123
56	935,025	0,025	0,039	0,935	0,345	506,798	0,340	0,040	0,994	1321,918
57	937,671	0,025	0,039	0,936	0,349	512,444	0,338	0,040	0,988	1310,865
58	940,271	0,025	0,039	0,937	0,352	517,997	0,337	0,041	0,983	1299,961
59	942,827	0,025	0,039	0,937	0,355	523,458	0,335	0,041	0,978	1289,200
60	945,340	0,025	0,039	0,938	0,358	528,830	0,334	0,042	0,973	1278,581
61	947,812	0,025	0,039	0,939	0,361	534,117	0,333	0,042	0,968	1268,098
62	950,243	0,025	0,039	0,940	0,364	539,321	0,331	0,043	0,963	1257,750
63	952,636	0,025	0,039	0,941	0,367	544,443	0,330	0,043	0,959	1247,531
64	954,990	0,025	0,039	0,942	0,370	549,488	0,329	0,044	0,954	1237,441
65	957,309	0,025	0,039	0,943	0,372	554,455	0,327	0,044	0,949	1227,474
66	959,592	0,025	0,039	0,943	0,375	559,349	0,326	0,045	0,945	1217,629
67	961,841	0,025	0,039	0,944	0,378	564,171	0,325	0,045	0,940	1207,903
68	964,057	0,025	0,039	0,945	0,380	568,923	0,324	0,046	0,936	1198,292
69	966,240	0,025	0,039	0,946	0,383	573,606	0,323	0,046	0,931	1188,795
70	968,392	0,025	0,039	0,946	0,386	578,223	0,322	0,047	0,927	1179,409
71	970,514	0,025	0,039	0,947	0,388	582,775	0,321	0,047	0,923	1170,132
72	972,606	0,025	0,039	0,948	0,391	587,265	0,319	0,048	0,919	1160,961
73	974,669	0,025	0,039	0,948	0,393	591,693	0,318	0,048	0,914	1151,893
74	976,704	0,025	0,039	0,949	0,396	596,061	0,317	0,048	0,910	1142,928
75	978,712	0,025	0,039	0,949	0,398	600,371	0,316	0,049	0,906	1134,063
76	980,693	0,025	0,039	0,950	0,400	604,624	0,315	0,049	0,902	1125,295
77	982,648	0,025	0,039	0,951	0,403	608,822	0,315	0,050	0,898	1116,623
78	984,579	0,025	0,039	0,951	0,405	612,965	0,314	0,050	0,895	1108,045
79	986,484	0,025	0,039	0,952	0,407	617,056	0,313	0,051	0,891	1099,559
80	988,366	0,025	0,039	0,952	0,410	621,095	0,312	0,051	0,887	1091,164
81	990,224	0,025	0,039	0,953	0,412	625,083	0,311	0,052	0,883	1082,857
82	992,060	0,025	0,039	0,953	0,414	629,023	0,310	0,052	0,880	1074,637
83	993,873	0,025	0,039	0,954	0,416	632,914	0,309	0,053	0,876	1066,503
84	995,665	0,025	0,039	0,954	0,418	636,759	0,308	0,053	0,872	1058,452
85	997,436	0,025	0,039	0,955	0,421	640,557	0,308	0,053	0,869	1050,484
86	999,186	0,025	0,039	0,955	0,423	644,310	0,307	0,054	0,865	1042,597
87	1000,915	0,025	0,039	0,956	0,425	648,020	0,306	0,054	0,862	1034,789
88	1002,625	0,025	0,039	0,956	0,427	651,686	0,305	0,055	0,858	1027,059
89	1004,316	0,025	0,039	0,956	0,429	655,311	0,305	0,055	0,855	1019,406
90	1005,988	0,025	0,039	0,957	0,431	658,894	0,304	0,056	0,852	1011,829
91	1007,641	0,025	0,039	0,957	0,433	662,437	0,303	0,056	0,848	1004,325
92	1009,276	0,025	0,039	0,958	0,435	665,941	0,302	0,056	0,845	996,895
93	1010,894	0,025	0,039	0,958	0,437	669,405	0,302	0,057	0,842	989,536
94	1012,494	0,025	0,039	0,959	0,439	672,832	0,301	0,057	0,839	982,248
95	1014,078	0,025	0,039	0,959	0,441	676,222	0,300	0,058	0,836	975,030
96	1015,645	0,025	0,039	0,959	0,443	679,576	0,300	0,058	0,832	967,880
97	1017,195	0,025	0,039	0,960	0,444	682,893	0,299	0,058	0,829	960,797

98	1018,730	0,025	0,039	0,960	0,446	686,176	0,298	0,059	0,826	953,780
99	1020,249	0,025	0,039	0,960	0,448	689,425	0,298	0,059	0,823	946,829
100	1021,753	0,025	0,039	0,961	0,450	692,640	0,297	0,060	0,820	939,942
101	1023,242	0,025	0,039	0,961	0,452	695,822	0,296	0,060	0,817	933,118
102	1024,717	0,025	0,039	0,961	0,453	698,972	0,296	0,060	0,814	926,357
103	1026,177	0,025	0,039	0,962	0,455	702,090	0,295	0,061	0,811	919,657
104	1027,623	0,025	0,039	0,962	0,457	705,176	0,295	0,061	0,809	913,017
105	1029,055	0,025	0,039	0,962	0,459	708,233	0,294	0,062	0,806	906,437
106	1030,473	0,025	0,039	0,963	0,460	711,259	0,293	0,062	0,803	899,916
107	1031,878	0,025	0,039	0,963	0,462	714,256	0,293	0,062	0,800	893,453
108	1033,271	0,025	0,039	0,963	0,464	717,224	0,292	0,063	0,797	887,047
109	1034,650	0,025	0,039	0,964	0,465	720,163	0,292	0,063	0,795	880,698
110	1036,017	0,025	0,039	0,964	0,467	723,075	0,291	0,064	0,792	874,404
111	1037,371	0,025	0,039	0,964	0,469	725,959	0,291	0,064	0,789	868,164
112	1038,713	0,025	0,039	0,964	0,470	728,816	0,290	0,064	0,786	861,979
113	1040,044	0,025	0,039	0,965	0,472	731,647	0,290	0,065	0,784	855,848
114	1041,362	0,025	0,039	0,965	0,473	734,451	0,289	0,065	0,781	849,768
115	1042,670	0,025	0,039	0,965	0,475	737,230	0,289	0,065	0,779	843,741
116	1043,965	0,025	0,039	0,966	0,477	739,984	0,288	0,066	0,776	837,765
117	1045,250	0,025	0,039	0,966	0,478	742,713	0,288	0,066	0,773	831,840
118	1046,524	0,025	0,039	0,966	0,480	745,418	0,287	0,067	0,771	825,965
119	1047,787	0,025	0,039	0,966	0,481	748,099	0,287	0,067	0,768	820,139
120	1049,040	0,025	0,039	0,967	0,483	750,756	0,286	0,067	0,766	814,362

Resistência residual do pilar considerando isotérmica 300 e propriedades residuais

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'	x'	ks (θ)	Nrd,res 300 Res (KN)
0	20,000	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,000	1,000	2149,496
1	349,214	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	0,927	0,001	1,000	2124,703
2	444,505	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	0,822	0,002	1,000	2102,661
3	502,289	0,025	0,039	0,140	0,000	20,000	0,737	0,003	1,000	2077,190
4	543,887	0,025	0,039	0,332	0,000	20,000	0,630	0,005	1,000	2037,713
5	576,410	0,025	0,039	0,451	0,000	20,000	0,545	0,007	1,000	1992,211
6	603,118	0,025	0,039	0,533	0,000	20,000	0,481	0,009	1,000	1945,408
7	625,777	0,025	0,039	0,592	0,000	20,000	0,434	0,011	1,000	1900,139
8	645,455	0,025	0,039	0,637	0,000	20,000	0,399	0,013	1,000	1857,477
9	662,846	0,025	0,039	0,673	0,016	20,000	0,372	0,015	1,000	1817,606
10	678,427	0,025	0,039	0,702	0,035	33,365	0,350	0,016	1,000	1780,364
11	692,540	0,025	0,039	0,726	0,053	51,969	0,333	0,018	1,000	1745,488
12	705,436	0,025	0,039	0,746	0,068	70,186	0,318	0,019	1,000	1712,709
13	717,310	0,025	0,039	0,763	0,083	87,900	0,306	0,021	1,000	1681,781
14	728,312	0,025	0,039	0,778	0,096	105,054	0,296	0,022	1,000	1652,493
15	738,561	0,025	0,039	0,791	0,108	121,631	0,287	0,024	1,000	1624,664
16	748,153	0,025	0,039	0,803	0,120	137,630	0,279	0,025	1,000	1598,139
17	757,169	0,025	0,039	0,813	0,131	153,064	0,272	0,026	1,000	1572,788
18	765,672	0,025	0,039	0,822	0,141	167,954	0,266	0,028	1,000	1548,499
19	773,719	0,025	0,039	0,831	0,151	182,322	0,260	0,029	1,000	1525,177
20	781,355	0,025	0,039	0,838	0,160	196,194	0,255	0,030	1,000	1502,738
21	788,621	0,025	0,039	0,845	0,169	209,593	0,251	0,031	1,000	1481,110
22	795,551	0,025	0,039	0,851	0,177	222,544	0,247	0,032	1,000	1460,232
23	802,174	0,025	0,039	0,857	0,185	235,072	0,243	0,033	1,000	1440,046
24	808,517	0,025	0,039	0,862	0,193	247,198	0,239	0,034	1,000	1420,505
25	814,603	0,025	0,039	0,867	0,200	258,944	0,236	0,035	1,000	1401,566
26	820,450	0,025	0,039	0,871	0,207	270,330	0,233	0,036	1,000	1383,188
27	826,079	0,025	0,039	0,876	0,214	281,376	0,230	0,037	1,000	1365,338
28	831,503	0,025	0,039	0,880	0,221	292,098	0,227	0,038	1,000	1347,984
29	836,738	0,025	0,039	0,883	0,227	302,513	0,225	0,039	1,000	1331,098
30	841,796	0,025	0,039	0,887	0,233	312,637	0,223	0,040	1,000	1314,654
31	846,689	0,025	0,039	0,890	0,239	322,485	0,220	0,041	1,000	1298,628
32	851,427	0,025	0,039	0,893	0,245	332,069	0,218	0,042	1,000	1283,000
33	856,020	0,025	0,039	0,896	0,250	341,402	0,216	0,043	1,000	1267,749
34	860,476	0,025	0,039	0,898	0,256	350,496	0,214	0,044	1,000	1252,857
35	864,804	0,025	0,039	0,901	0,261	359,363	0,213	0,045	1,000	1238,309
36	869,010	0,025	0,039	0,903	0,266	368,012	0,211	0,045	1,000	1224,087
37	873,101	0,025	0,039	0,906	0,271	376,453	0,209	0,046	1,000	1210,179
38	877,083	0,025	0,039	0,908	0,276	384,695	0,208	0,047	1,000	1196,571
39	880,963	0,025	0,039	0,910	0,280	392,747	0,206	0,048	1,000	1183,250
40	884,744	0,025	0,039	0,912	0,285	400,617	0,205	0,049	1,000	1170,206
41	888,433	0,025	0,039	0,914	0,289	408,312	0,204	0,050	1,000	1157,427
42	892,032	0,025	0,039	0,916	0,294	415,840	0,202	0,050	1,000	1144,903
43	895,548	0,025	0,039	0,917	0,298	423,207	0,201	0,051	1,000	1132,625
44	898,982	0,025	0,039	0,919	0,302	430,419	0,200	0,052	1,000	1120,584
45	902,340	0,025	0,039	0,921	0,306	437,483	0,199	0,053	1,000	1108,772
46	905,624	0,025	0,039	0,922	0,310	444,404	0,197	0,053	1,000	1097,181
47	908,838	0,025	0,039	0,924	0,314	451,187	0,196	0,054	1,000	1085,804

48	911,984	0,025	0,039	0,925	0,318	457,838	0,195	0,055	1,000	1074,633
49	915,065	0,025	0,039	0,926	0,321	464,361	0,194	0,056	1,000	1063,662
50	918,085	0,025	0,039	0,928	0,325	470,761	0,193	0,056	1,000	1052,885
51	921,045	0,025	0,039	0,929	0,329	477,041	0,192	0,057	1,000	1042,296
52	923,947	0,025	0,039	0,930	0,332	483,207	0,192	0,058	1,000	1031,889
53	926,794	0,025	0,039	0,931	0,336	489,262	0,191	0,058	1,000	1021,659
54	929,588	0,025	0,039	0,932	0,339	495,210	0,190	0,059	1,000	1011,601
55	932,331	0,025	0,039	0,933	0,342	501,054	0,189	0,060	0,999	1001,366
56	935,025	0,025	0,039	0,935	0,345	506,798	0,188	0,060	0,994	989,764
57	937,671	0,025	0,039	0,936	0,349	512,444	0,187	0,061	0,988	978,351
58	940,271	0,025	0,039	0,937	0,352	517,997	0,187	0,062	0,983	967,123
59	942,827	0,025	0,039	0,937	0,355	523,458	0,186	0,062	0,978	956,074
60	945,340	0,025	0,039	0,938	0,358	528,830	0,185	0,063	0,973	945,200
61	947,812	0,025	0,039	0,939	0,361	534,117	0,184	0,064	0,968	934,496
62	950,243	0,025	0,039	0,940	0,364	539,321	0,184	0,064	0,963	923,958
63	952,636	0,025	0,039	0,941	0,367	544,443	0,183	0,065	0,959	913,582
64	954,990	0,025	0,039	0,942	0,370	549,488	0,182	0,066	0,954	903,364
65	957,309	0,025	0,039	0,943	0,372	554,455	0,182	0,066	0,949	893,299
66	959,592	0,025	0,039	0,943	0,375	559,349	0,181	0,067	0,945	883,385
67	961,841	0,025	0,039	0,944	0,378	564,171	0,181	0,067	0,940	873,617
68	964,057	0,025	0,039	0,945	0,380	568,923	0,180	0,068	0,936	863,993
69	966,240	0,025	0,039	0,946	0,383	573,606	0,179	0,069	0,931	854,508
70	968,392	0,025	0,039	0,946	0,386	578,223	0,179	0,069	0,927	845,161
71	970,514	0,025	0,039	0,947	0,388	582,775	0,178	0,070	0,923	835,947
72	972,606	0,025	0,039	0,948	0,391	587,265	0,178	0,070	0,919	826,864
73	974,669	0,025	0,039	0,948	0,393	591,693	0,177	0,071	0,914	817,910
74	976,704	0,025	0,039	0,949	0,396	596,061	0,177	0,072	0,910	809,080
75	978,712	0,025	0,039	0,949	0,398	600,371	0,176	0,072	0,906	800,374
76	980,693	0,025	0,039	0,950	0,400	604,624	0,176	0,073	0,902	791,787
77	982,648	0,025	0,039	0,951	0,403	608,822	0,175	0,073	0,898	783,319
78	984,579	0,025	0,039	0,951	0,405	612,965	0,175	0,074	0,895	774,965
79	986,484	0,025	0,039	0,952	0,407	617,056	0,174	0,075	0,891	766,725
80	988,366	0,025	0,039	0,952	0,410	621,095	0,174	0,075	0,887	758,596
81	990,224	0,025	0,039	0,953	0,412	625,083	0,173	0,076	0,883	750,576
82	992,060	0,025	0,039	0,953	0,414	629,023	0,173	0,076	0,880	742,662
83	993,873	0,025	0,039	0,954	0,416	632,914	0,172	0,077	0,876	734,853
84	995,665	0,025	0,039	0,954	0,418	636,759	0,172	0,077	0,872	727,146
85	997,436	0,025	0,039	0,955	0,421	640,557	0,172	0,078	0,869	719,541
86	999,186	0,025	0,039	0,955	0,423	644,310	0,171	0,078	0,865	712,034
87	1000,915	0,025	0,039	0,956	0,425	648,020	0,171	0,079	0,862	704,625
88	1002,625	0,025	0,039	0,956	0,427	651,686	0,170	0,080	0,858	697,311
89	1004,316	0,025	0,039	0,956	0,429	655,311	0,170	0,080	0,855	690,091
90	1005,988	0,025	0,039	0,957	0,431	658,894	0,170	0,081	0,852	682,963
91	1007,641	0,025	0,039	0,957	0,433	662,437	0,169	0,081	0,848	675,926
92	1009,276	0,025	0,039	0,958	0,435	665,941	0,169	0,082	0,845	668,978
93	1010,894	0,025	0,039	0,958	0,437	669,405	0,168	0,082	0,842	662,117
94	1012,494	0,025	0,039	0,959	0,439	672,832	0,168	0,083	0,839	655,343
95	1014,078	0,025	0,039	0,959	0,441	676,222	0,168	0,083	0,836	648,653
96	1015,645	0,025	0,039	0,959	0,443	679,576	0,167	0,084	0,832	642,047
97	1017,195	0,025	0,039	0,960	0,444	682,893	0,167	0,084	0,829	635,523

98	1018,730	0,025	0,039	0,960	0,446	686,176	0,167	0,085	0,826	629,080
99	1020,249	0,025	0,039	0,960	0,448	689,425	0,166	0,085	0,823	622,716
100	1021,753	0,025	0,039	0,961	0,450	692,640	0,166	0,086	0,820	616,430
101	1023,242	0,025	0,039	0,961	0,452	695,822	0,166	0,086	0,817	610,222
102	1024,717	0,025	0,039	0,961	0,453	698,972	0,165	0,087	0,814	604,089
103	1026,177	0,025	0,039	0,962	0,455	702,090	0,165	0,087	0,811	598,031
104	1027,623	0,025	0,039	0,962	0,457	705,176	0,165	0,088	0,809	592,047
105	1029,055	0,025	0,039	0,962	0,459	708,233	0,164	0,088	0,806	586,135
106	1030,473	0,025	0,039	0,963	0,460	711,259	0,164	0,089	0,803	580,295
107	1031,878	0,025	0,039	0,963	0,462	714,256	0,164	0,089	0,800	574,525
108	1033,271	0,025	0,039	0,963	0,464	717,224	0,164	0,090	0,797	568,825
109	1034,650	0,025	0,039	0,964	0,465	720,163	0,163	0,090	0,795	563,193
110	1036,017	0,025	0,039	0,964	0,467	723,075	0,163	0,091	0,792	557,628
111	1037,371	0,025	0,039	0,964	0,469	725,959	0,163	0,091	0,789	552,130
112	1038,713	0,025	0,039	0,964	0,470	728,816	0,162	0,092	0,786	546,698
113	1040,044	0,025	0,039	0,965	0,472	731,647	0,162	0,092	0,784	541,331
114	1041,362	0,025	0,039	0,965	0,473	734,451	0,162	0,093	0,781	536,027
115	1042,670	0,025	0,039	0,965	0,475	737,230	0,162	0,093	0,779	530,786
116	1043,965	0,025	0,039	0,966	0,477	739,984	0,161	0,094	0,776	525,608
117	1045,250	0,025	0,039	0,966	0,478	742,713	0,161	0,094	0,773	520,491
118	1046,524	0,025	0,039	0,966	0,480	745,418	0,161	0,095	0,771	515,434
119	1047,787	0,025	0,039	0,966	0,481	748,099	0,161	0,095	0,768	510,437
120	1049,040	0,025	0,039	0,967	0,483	750,756	0,160	0,095	0,766	505,500

Resistência residual do pilar considerando isotérmica 500 e propriedades EN 1992-1-2

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'	x'	ks (θ)	Nrd,res 500 EN (KN)
0	20,000	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,000	1,000	2149,496
1	349,214	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	2129,248
2	444,505	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	2120,895
3	502,289	0,025	0,039	0,140	0,000	20,000	0,997	0,001	1,000	2114,241
4	543,887	0,025	0,039	0,332	0,000	20,000	0,939	0,002	1,000	2101,659
5	576,410	0,025	0,039	0,451	0,000	20,000	0,878	0,003	1,000	2086,317
6	603,118	0,025	0,039	0,533	0,000	20,000	0,819	0,003	1,000	2068,281
7	625,777	0,025	0,039	0,592	0,000	20,000	0,766	0,004	1,000	2048,069
8	645,455	0,025	0,039	0,637	0,000	20,000	0,719	0,005	1,000	2026,400
9	662,846	0,025	0,039	0,673	0,016	20,000	0,679	0,006	1,000	2003,949
10	678,427	0,025	0,039	0,702	0,035	33,365	0,644	0,007	1,000	1981,239
11	692,540	0,025	0,039	0,726	0,053	51,969	0,615	0,008	1,000	1958,627
12	705,436	0,025	0,039	0,746	0,068	70,186	0,590	0,009	1,000	1936,337
13	717,310	0,025	0,039	0,763	0,083	87,900	0,568	0,010	1,000	1914,501
14	728,312	0,025	0,039	0,778	0,096	105,054	0,549	0,011	0,995	1891,424
15	738,561	0,025	0,039	0,791	0,108	121,631	0,532	0,012	0,978	1864,875
16	748,153	0,025	0,039	0,803	0,120	137,630	0,517	0,013	0,962	1839,092
17	757,169	0,025	0,039	0,813	0,131	153,064	0,504	0,014	0,947	1814,061
18	765,672	0,025	0,039	0,822	0,141	167,954	0,492	0,015	0,932	1789,762
19	773,719	0,025	0,039	0,831	0,151	182,322	0,481	0,016	0,918	1766,165
20	781,355	0,025	0,039	0,838	0,160	196,194	0,471	0,016	0,904	1743,240
21	788,621	0,025	0,039	0,845	0,169	209,593	0,463	0,017	0,890	1720,954
22	795,551	0,025	0,039	0,851	0,177	222,544	0,454	0,018	0,877	1699,278
23	802,174	0,025	0,039	0,857	0,185	235,072	0,447	0,019	0,865	1678,179
24	808,517	0,025	0,039	0,862	0,193	247,198	0,440	0,020	0,853	1657,628
25	814,603	0,025	0,039	0,867	0,200	258,944	0,434	0,020	0,841	1637,599
26	820,450	0,025	0,039	0,871	0,207	270,330	0,428	0,021	0,830	1618,065
27	826,079	0,025	0,039	0,876	0,214	281,376	0,422	0,022	0,819	1599,001
28	831,503	0,025	0,039	0,880	0,221	292,098	0,417	0,023	0,808	1580,386
29	836,738	0,025	0,039	0,883	0,227	302,513	0,412	0,023	0,797	1562,196
30	841,796	0,025	0,039	0,887	0,233	312,637	0,407	0,024	0,787	1544,414
31	846,689	0,025	0,039	0,890	0,239	322,485	0,403	0,025	0,778	1527,019
32	851,427	0,025	0,039	0,893	0,245	332,069	0,399	0,025	0,768	1509,995
33	856,020	0,025	0,039	0,896	0,250	341,402	0,395	0,026	0,759	1493,326
34	860,476	0,025	0,039	0,898	0,256	350,496	0,391	0,027	0,750	1476,995
35	864,804	0,025	0,039	0,901	0,261	359,363	0,388	0,027	0,741	1460,990
36	869,010	0,025	0,039	0,903	0,266	368,012	0,384	0,028	0,732	1445,296
37	873,101	0,025	0,039	0,906	0,271	376,453	0,381	0,029	0,724	1429,901
38	877,083	0,025	0,039	0,908	0,276	384,695	0,378	0,029	0,715	1414,793
39	880,963	0,025	0,039	0,910	0,280	392,747	0,375	0,030	0,707	1399,962
40	884,744	0,025	0,039	0,912	0,285	400,617	0,373	0,031	0,699	1385,332
41	888,433	0,025	0,039	0,914	0,289	408,312	0,370	0,031	0,689	1370,216
42	892,032	0,025	0,039	0,916	0,294	415,840	0,367	0,032	0,679	1355,365
43	895,548	0,025	0,039	0,917	0,298	423,207	0,365	0,032	0,670	1340,769
44	898,982	0,025	0,039	0,919	0,302	430,419	0,362	0,033	0,660	1326,419
45	902,340	0,025	0,039	0,921	0,306	437,483	0,360	0,034	0,651	1312,307
46	905,624	0,025	0,039	0,922	0,310	444,404	0,358	0,034	0,642	1298,425
47	908,838	0,025	0,039	0,924	0,314	451,187	0,356	0,035	0,633	1284,765

48	911,984	0,025	0,039	0,925	0,318	457,838	0,354	0,035	0,625	1271,320
49	915,065	0,025	0,039	0,926	0,321	464,361	0,352	0,036	0,616	1258,084
50	918,085	0,025	0,039	0,928	0,325	470,761	0,350	0,036	0,608	1245,050
51	921,045	0,025	0,039	0,929	0,329	477,041	0,348	0,037	0,600	1232,212
52	923,947	0,025	0,039	0,930	0,332	483,207	0,346	0,037	0,592	1219,564
53	926,794	0,025	0,039	0,931	0,336	489,262	0,345	0,038	0,584	1207,100
54	929,588	0,025	0,039	0,932	0,339	495,210	0,343	0,039	0,576	1194,815
55	932,331	0,025	0,039	0,933	0,342	501,054	0,341	0,039	0,568	1182,318
56	935,025	0,025	0,039	0,935	0,345	506,798	0,340	0,040	0,554	1168,269
57	937,671	0,025	0,039	0,936	0,349	512,444	0,338	0,040	0,541	1154,421
58	940,271	0,025	0,039	0,937	0,352	517,997	0,337	0,041	0,528	1140,767
59	942,827	0,025	0,039	0,937	0,355	523,458	0,335	0,041	0,515	1127,303
60	945,340	0,025	0,039	0,938	0,358	528,830	0,334	0,042	0,502	1114,023
61	947,812	0,025	0,039	0,939	0,361	534,117	0,333	0,042	0,490	1100,923
62	950,243	0,025	0,039	0,940	0,364	539,321	0,331	0,043	0,478	1087,998
63	952,636	0,025	0,039	0,941	0,367	544,443	0,330	0,043	0,466	1075,244
64	954,990	0,025	0,039	0,942	0,370	549,488	0,329	0,044	0,454	1062,655
65	957,309	0,025	0,039	0,943	0,372	554,455	0,327	0,044	0,442	1050,229
66	959,592	0,025	0,039	0,943	0,375	559,349	0,326	0,045	0,431	1037,961
67	961,841	0,025	0,039	0,944	0,378	564,171	0,325	0,045	0,419	1025,847
68	964,057	0,025	0,039	0,945	0,380	568,923	0,324	0,046	0,408	1013,884
69	966,240	0,025	0,039	0,946	0,383	573,606	0,323	0,046	0,397	1002,068
70	968,392	0,025	0,039	0,946	0,386	578,223	0,322	0,047	0,386	990,396
71	970,514	0,025	0,039	0,947	0,388	582,775	0,321	0,047	0,375	978,865
72	972,606	0,025	0,039	0,948	0,391	587,265	0,319	0,048	0,365	967,471
73	974,669	0,025	0,039	0,948	0,393	591,693	0,318	0,048	0,355	956,211
74	976,704	0,025	0,039	0,949	0,396	596,061	0,317	0,048	0,344	945,083
75	978,712	0,025	0,039	0,949	0,398	600,371	0,316	0,049	0,334	934,084
76	980,693	0,025	0,039	0,950	0,400	604,624	0,315	0,049	0,324	923,210
77	982,648	0,025	0,039	0,951	0,403	608,822	0,315	0,050	0,314	912,460
78	984,579	0,025	0,039	0,951	0,405	612,965	0,314	0,050	0,305	901,831
79	986,484	0,025	0,039	0,952	0,407	617,056	0,313	0,051	0,295	891,319
80	988,366	0,025	0,039	0,952	0,410	621,095	0,312	0,051	0,285	880,924
81	990,224	0,025	0,039	0,953	0,412	625,083	0,311	0,052	0,276	870,643
82	992,060	0,025	0,039	0,953	0,414	629,023	0,310	0,052	0,267	860,472
83	993,873	0,025	0,039	0,954	0,416	632,914	0,309	0,053	0,258	850,411
84	995,665	0,025	0,039	0,954	0,418	636,759	0,308	0,053	0,249	840,457
85	997,436	0,025	0,039	0,955	0,421	640,557	0,308	0,053	0,240	830,608
86	999,186	0,025	0,039	0,955	0,423	644,310	0,307	0,054	0,231	820,863
87	1000,915	0,025	0,039	0,956	0,425	648,020	0,306	0,054	0,222	811,218
88	1002,625	0,025	0,039	0,956	0,427	651,686	0,305	0,055	0,214	801,673
89	1004,316	0,025	0,039	0,956	0,429	655,311	0,305	0,055	0,205	792,226
90	1005,988	0,025	0,039	0,957	0,431	658,894	0,304	0,056	0,197	782,874
91	1007,641	0,025	0,039	0,957	0,433	662,437	0,303	0,056	0,188	773,617
92	1009,276	0,025	0,039	0,958	0,435	665,941	0,302	0,056	0,180	764,452
93	1010,894	0,025	0,039	0,958	0,437	669,405	0,302	0,057	0,172	755,378
94	1012,494	0,025	0,039	0,959	0,439	672,832	0,301	0,057	0,164	746,393
95	1014,078	0,025	0,039	0,959	0,441	676,222	0,300	0,058	0,156	737,496
96	1015,645	0,025	0,039	0,959	0,443	679,576	0,300	0,058	0,148	728,685
97	1017,195	0,025	0,039	0,960	0,444	682,893	0,299	0,058	0,140	719,960

98	1018,730	0,025	0,039	0,960	0,446	686,176	0,298	0,059	0,132	711,318
99	1020,249	0,025	0,039	0,960	0,448	689,425	0,298	0,059	0,125	702,758
100	1021,753	0,025	0,039	0,961	0,450	692,640	0,297	0,060	0,117	694,279
101	1023,242	0,025	0,039	0,961	0,452	695,822	0,296	0,060	0,110	685,880
102	1024,717	0,025	0,039	0,961	0,453	698,972	0,296	0,060	0,102	677,559
103	1026,177	0,025	0,039	0,962	0,455	702,090	0,295	0,061	0,100	670,885
104	1027,623	0,025	0,039	0,962	0,457	705,176	0,295	0,061	0,099	665,037
105	1029,055	0,025	0,039	0,962	0,459	708,233	0,294	0,062	0,098	659,240
106	1030,473	0,025	0,039	0,963	0,460	711,259	0,293	0,062	0,098	653,495
107	1031,878	0,025	0,039	0,963	0,462	714,256	0,293	0,062	0,097	647,800
108	1033,271	0,025	0,039	0,963	0,464	717,224	0,292	0,063	0,097	642,155
109	1034,650	0,025	0,039	0,964	0,465	720,163	0,292	0,063	0,096	636,558
110	1036,017	0,025	0,039	0,964	0,467	723,075	0,291	0,064	0,095	631,011
111	1037,371	0,025	0,039	0,964	0,469	725,959	0,291	0,064	0,095	625,511
112	1038,713	0,025	0,039	0,964	0,470	728,816	0,290	0,064	0,094	620,058
113	1040,044	0,025	0,039	0,965	0,472	731,647	0,290	0,065	0,094	614,652
114	1041,362	0,025	0,039	0,965	0,473	734,451	0,289	0,065	0,093	609,291
115	1042,670	0,025	0,039	0,965	0,475	737,230	0,289	0,065	0,093	603,976
116	1043,965	0,025	0,039	0,966	0,477	739,984	0,288	0,066	0,092	598,706
117	1045,250	0,025	0,039	0,966	0,478	742,713	0,288	0,066	0,091	593,481
118	1046,524	0,025	0,039	0,966	0,480	745,418	0,287	0,067	0,091	588,298
119	1047,787	0,025	0,039	0,966	0,481	748,099	0,287	0,067	0,090	583,160
120	1049,040	0,025	0,039	0,967	0,483	750,756	0,286	0,067	0,090	578,063

Resistência residual do pilar considerando isotérmica 300 e propriedades EN 1992-1-2

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'	x'	ks (θ)	Nrd,res 300 EN (KN)
0	20,000	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,000	1,000	2149,496
1	349,214	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	0,927	0,001	1,000	2124,703
2	444,505	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	0,822	0,002	1,000	2102,661
3	502,289	0,025	0,039	0,140	0,000	20,000	0,737	0,003	1,000	2077,190
4	543,887	0,025	0,039	0,332	0,000	20,000	0,630	0,005	1,000	2037,713
5	576,410	0,025	0,039	0,451	0,000	20,000	0,545	0,007	1,000	1992,211
6	603,118	0,025	0,039	0,533	0,000	20,000	0,481	0,009	1,000	1945,408
7	625,777	0,025	0,039	0,592	0,000	20,000	0,434	0,011	1,000	1900,139
8	645,455	0,025	0,039	0,637	0,000	20,000	0,399	0,013	1,000	1857,477
9	662,846	0,025	0,039	0,673	0,016	20,000	0,372	0,015	1,000	1817,606
10	678,427	0,025	0,039	0,702	0,035	33,365	0,350	0,016	1,000	1780,364
11	692,540	0,025	0,039	0,726	0,053	51,969	0,333	0,018	1,000	1745,488
12	705,436	0,025	0,039	0,746	0,068	70,186	0,318	0,019	1,000	1712,709
13	717,310	0,025	0,039	0,763	0,083	87,900	0,306	0,021	1,000	1681,781
14	728,312	0,025	0,039	0,778	0,096	105,054	0,296	0,022	0,995	1650,727
15	738,561	0,025	0,039	0,791	0,108	121,631	0,287	0,024	0,978	1617,104
16	748,153	0,025	0,039	0,803	0,120	137,630	0,279	0,025	0,962	1584,987
17	757,169	0,025	0,039	0,813	0,131	153,064	0,272	0,026	0,947	1554,242
18	765,672	0,025	0,039	0,822	0,141	167,954	0,266	0,028	0,932	1524,749
19	773,719	0,025	0,039	0,831	0,151	182,322	0,260	0,029	0,918	1496,405
20	781,355	0,025	0,039	0,838	0,160	196,194	0,255	0,030	0,904	1469,118
21	788,621	0,025	0,039	0,845	0,169	209,593	0,251	0,031	0,890	1442,808
22	795,551	0,025	0,039	0,851	0,177	222,544	0,247	0,032	0,877	1417,403
23	802,174	0,025	0,039	0,857	0,185	235,072	0,243	0,033	0,865	1392,839
24	808,517	0,025	0,039	0,862	0,193	247,198	0,239	0,034	0,853	1369,061
25	814,603	0,025	0,039	0,867	0,200	258,944	0,236	0,035	0,841	1346,016
26	820,450	0,025	0,039	0,871	0,207	270,330	0,233	0,036	0,830	1323,659
27	826,079	0,025	0,039	0,876	0,214	281,376	0,230	0,037	0,819	1301,948
28	831,503	0,025	0,039	0,880	0,221	292,098	0,227	0,038	0,808	1280,847
29	836,738	0,025	0,039	0,883	0,227	302,513	0,225	0,039	0,797	1260,321
30	841,796	0,025	0,039	0,887	0,233	312,637	0,223	0,040	0,787	1240,338
31	846,689	0,025	0,039	0,890	0,239	322,485	0,220	0,041	0,778	1220,871
32	851,427	0,025	0,039	0,893	0,245	332,069	0,218	0,042	0,768	1201,893
33	856,020	0,025	0,039	0,896	0,250	341,402	0,216	0,043	0,759	1183,380
34	860,476	0,025	0,039	0,898	0,256	350,496	0,214	0,044	0,750	1165,310
35	864,804	0,025	0,039	0,901	0,261	359,363	0,213	0,045	0,741	1147,663
36	869,010	0,025	0,039	0,903	0,266	368,012	0,211	0,045	0,732	1130,418
37	873,101	0,025	0,039	0,906	0,271	376,453	0,209	0,046	0,724	1113,560
38	877,083	0,025	0,039	0,908	0,276	384,695	0,208	0,047	0,715	1097,071
39	880,963	0,025	0,039	0,910	0,280	392,747	0,206	0,048	0,707	1080,936
40	884,744	0,025	0,039	0,912	0,285	400,617	0,205	0,049	0,699	1065,077
41	888,433	0,025	0,039	0,914	0,289	408,312	0,204	0,050	0,689	1048,801
42	892,032	0,025	0,039	0,916	0,294	415,840	0,202	0,050	0,679	1032,857
43	895,548	0,025	0,039	0,917	0,298	423,207	0,201	0,051	0,670	1017,232
44	898,982	0,025	0,039	0,919	0,302	430,419	0,200	0,052	0,660	1001,915
45	902,340	0,025	0,039	0,921	0,306	437,483	0,199	0,053	0,651	986,893
46	905,624	0,025	0,039	0,922	0,310	444,404	0,197	0,053	0,642	972,158
47	908,838	0,025	0,039	0,924	0,314	451,187	0,196	0,054	0,633	957,699

48	911,984	0,025	0,039	0,925	0,318	457,838	0,195	0,055	0,625	943,506
49	915,065	0,025	0,039	0,926	0,321	464,361	0,194	0,056	0,616	929,572
50	918,085	0,025	0,039	0,928	0,325	470,761	0,193	0,056	0,608	915,887
51	921,045	0,025	0,039	0,929	0,329	477,041	0,192	0,057	0,600	902,444
52	923,947	0,025	0,039	0,930	0,332	483,207	0,192	0,058	0,592	889,236
53	926,794	0,025	0,039	0,931	0,336	489,262	0,191	0,058	0,584	876,255
54	929,588	0,025	0,039	0,932	0,339	495,210	0,190	0,059	0,576	863,494
55	932,331	0,025	0,039	0,933	0,342	501,054	0,189	0,060	0,568	850,561
56	935,025	0,025	0,039	0,935	0,345	506,798	0,188	0,060	0,554	836,115
57	937,671	0,025	0,039	0,936	0,349	512,444	0,187	0,061	0,541	821,906
58	940,271	0,025	0,039	0,937	0,352	517,997	0,187	0,062	0,528	807,929
59	942,827	0,025	0,039	0,937	0,355	523,458	0,186	0,062	0,515	794,176
60	945,340	0,025	0,039	0,938	0,358	528,830	0,185	0,063	0,502	780,642
61	947,812	0,025	0,039	0,939	0,361	534,117	0,184	0,064	0,490	767,321
62	950,243	0,025	0,039	0,940	0,364	539,321	0,184	0,064	0,478	754,207
63	952,636	0,025	0,039	0,941	0,367	544,443	0,183	0,065	0,466	741,294
64	954,990	0,025	0,039	0,942	0,370	549,488	0,182	0,066	0,454	728,578
65	957,309	0,025	0,039	0,943	0,372	554,455	0,182	0,066	0,442	716,054
66	959,592	0,025	0,039	0,943	0,375	559,349	0,181	0,067	0,431	703,717
67	961,841	0,025	0,039	0,944	0,378	564,171	0,181	0,067	0,419	691,562
68	964,057	0,025	0,039	0,945	0,380	568,923	0,180	0,068	0,408	679,585
69	966,240	0,025	0,039	0,946	0,383	573,606	0,179	0,069	0,397	667,781
70	968,392	0,025	0,039	0,946	0,386	578,223	0,179	0,069	0,386	656,148
71	970,514	0,025	0,039	0,947	0,388	582,775	0,178	0,070	0,375	644,680
72	972,606	0,025	0,039	0,948	0,391	587,265	0,178	0,070	0,365	633,375
73	974,669	0,025	0,039	0,948	0,393	591,693	0,177	0,071	0,355	622,228
74	976,704	0,025	0,039	0,949	0,396	596,061	0,177	0,072	0,344	611,235
75	978,712	0,025	0,039	0,949	0,398	600,371	0,176	0,072	0,334	600,395
76	980,693	0,025	0,039	0,950	0,400	604,624	0,176	0,073	0,324	589,703
77	982,648	0,025	0,039	0,951	0,403	608,822	0,175	0,073	0,314	579,156
78	984,579	0,025	0,039	0,951	0,405	612,965	0,175	0,074	0,305	568,751
79	986,484	0,025	0,039	0,952	0,407	617,056	0,174	0,075	0,295	558,486
80	988,366	0,025	0,039	0,952	0,410	621,095	0,174	0,075	0,285	548,357
81	990,224	0,025	0,039	0,953	0,412	625,083	0,173	0,076	0,276	538,361
82	992,060	0,025	0,039	0,953	0,414	629,023	0,173	0,076	0,267	528,497
83	993,873	0,025	0,039	0,954	0,416	632,914	0,172	0,077	0,258	518,761
84	995,665	0,025	0,039	0,954	0,418	636,759	0,172	0,077	0,249	509,151
85	997,436	0,025	0,039	0,955	0,421	640,557	0,172	0,078	0,240	499,665
86	999,186	0,025	0,039	0,955	0,423	644,310	0,171	0,078	0,231	490,300
87	1000,915	0,025	0,039	0,956	0,425	648,020	0,171	0,079	0,222	481,054
88	1002,625	0,025	0,039	0,956	0,427	651,686	0,170	0,080	0,214	471,925
89	1004,316	0,025	0,039	0,956	0,429	655,311	0,170	0,080	0,205	462,910
90	1005,988	0,025	0,039	0,957	0,431	658,894	0,170	0,081	0,197	454,008
91	1007,641	0,025	0,039	0,957	0,433	662,437	0,169	0,081	0,188	445,217
92	1009,276	0,025	0,039	0,958	0,435	665,941	0,169	0,082	0,180	436,534
93	1010,894	0,025	0,039	0,958	0,437	669,405	0,168	0,082	0,172	427,958
94	1012,494	0,025	0,039	0,959	0,439	672,832	0,168	0,083	0,164	419,487
95	1014,078	0,025	0,039	0,959	0,441	676,222	0,168	0,083	0,156	411,119
96	1015,645	0,025	0,039	0,959	0,443	679,576	0,167	0,084	0,148	402,853
97	1017,195	0,025	0,039	0,960	0,444	682,893	0,167	0,084	0,140	394,686

98	1018,730	0,025	0,039	0,960	0,446	686,176	0,167	0,085	0,132	386,617
99	1020,249	0,025	0,039	0,960	0,448	689,425	0,166	0,085	0,125	378,645
100	1021,753	0,025	0,039	0,961	0,450	692,640	0,166	0,086	0,117	370,768
101	1023,242	0,025	0,039	0,961	0,452	695,822	0,166	0,086	0,110	362,984
102	1024,717	0,025	0,039	0,961	0,453	698,972	0,165	0,087	0,102	355,291
103	1026,177	0,025	0,039	0,962	0,455	702,090	0,165	0,087	0,100	349,260
104	1027,623	0,025	0,039	0,962	0,457	705,176	0,165	0,088	0,099	344,067
105	1029,055	0,025	0,039	0,962	0,459	708,233	0,164	0,088	0,098	338,938
106	1030,473	0,025	0,039	0,963	0,460	711,259	0,164	0,089	0,098	333,874
107	1031,878	0,025	0,039	0,963	0,462	714,256	0,164	0,089	0,097	328,872
108	1033,271	0,025	0,039	0,963	0,464	717,224	0,164	0,090	0,097	323,932
109	1034,650	0,025	0,039	0,964	0,465	720,163	0,163	0,090	0,096	319,053
110	1036,017	0,025	0,039	0,964	0,467	723,075	0,163	0,091	0,095	314,235
111	1037,371	0,025	0,039	0,964	0,469	725,959	0,163	0,091	0,095	309,476
112	1038,713	0,025	0,039	0,964	0,470	728,816	0,162	0,092	0,094	304,777
113	1040,044	0,025	0,039	0,965	0,472	731,647	0,162	0,092	0,094	300,135
114	1041,362	0,025	0,039	0,965	0,473	734,451	0,162	0,093	0,093	295,550
115	1042,670	0,025	0,039	0,965	0,475	737,230	0,162	0,093	0,093	291,021
116	1043,965	0,025	0,039	0,966	0,477	739,984	0,161	0,094	0,092	286,549
117	1045,250	0,025	0,039	0,966	0,478	742,713	0,161	0,094	0,091	282,131
118	1046,524	0,025	0,039	0,966	0,480	745,418	0,161	0,095	0,091	277,768
119	1047,787	0,025	0,039	0,966	0,481	748,099	0,161	0,095	0,090	273,458
120	1049,040	0,025	0,039	0,967	0,483	750,756	0,160	0,095	0,090	269,201

Resistência residual da viga considerando isotérmica 500 e propriedades residuais

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'(500)	x'(500)	ks (θ)	Fs	Fcx	x	z	Mrd,res 500 Res (KNm)
0	20,000	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,000	1,000	139,798	3200,000	0,044	0,244	34,044
1	349,214	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	139,798	3181,951	0,044	0,243	34,031
2	444,505	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	139,798	3174,475	0,044	0,243	34,025
3	502,289	0,025	0,039	0,140	0,000	20,000	0,997	0,001	1,000	139,798	3168,507	0,044	0,243	34,020
4	543,887	0,025	0,039	0,332	0,000	20,000	0,939	0,002	1,000	139,798	3157,192	0,044	0,243	34,011
5	576,410	0,025	0,039	0,451	0,000	20,000	0,878	0,003	1,000	139,798	3143,340	0,044	0,243	34,000
6	603,118	0,025	0,039	0,533	0,000	20,000	0,819	0,003	1,000	139,798	3126,976	0,045	0,243	33,987
7	625,777	0,025	0,039	0,592	0,000	20,000	0,766	0,004	1,000	139,798	3108,536	0,045	0,243	33,973
8	645,455	0,025	0,039	0,637	0,000	20,000	0,719	0,005	1,000	139,798	3088,644	0,045	0,243	33,956
9	662,846	0,025	0,039	0,673	0,016	20,000	0,679	0,006	1,000	139,798	3067,899	0,046	0,243	33,939
10	678,427	0,025	0,039	0,702	0,035	33,365	0,644	0,007	1,000	139,798	3046,770	0,046	0,243	33,922
11	692,540	0,025	0,039	0,726	0,053	51,969	0,615	0,008	1,000	139,798	3025,586	0,046	0,243	33,904
12	705,436	0,025	0,039	0,746	0,068	70,186	0,590	0,009	1,000	139,798	3004,557	0,047	0,242	33,885
13	717,310	0,025	0,039	0,763	0,083	87,900	0,568	0,010	1,000	139,798	2983,814	0,047	0,242	33,867
14	728,312	0,025	0,039	0,778	0,096	105,054	0,549	0,011	1,000	139,798	2963,428	0,047	0,242	33,849
15	738,561	0,025	0,039	0,791	0,108	121,631	0,532	0,012	1,000	139,798	2943,439	0,047	0,242	33,831
16	748,153	0,025	0,039	0,803	0,120	137,630	0,517	0,013	1,000	139,798	2923,861	0,048	0,242	33,814
17	757,169	0,025	0,039	0,813	0,131	153,064	0,504	0,014	1,000	139,798	2904,695	0,048	0,242	33,796
18	765,672	0,025	0,039	0,822	0,141	167,954	0,492	0,015	1,000	139,798	2885,935	0,048	0,242	33,779
19	773,719	0,025	0,039	0,831	0,151	182,322	0,481	0,016	1,000	139,798	2867,569	0,049	0,241	33,761
20	781,355	0,025	0,039	0,838	0,160	196,194	0,471	0,016	1,000	139,798	2849,581	0,049	0,241	33,744
21	788,621	0,025	0,039	0,845	0,169	209,593	0,463	0,017	1,000	139,798	2831,956	0,049	0,241	33,727
22	795,551	0,025	0,039	0,851	0,177	222,544	0,454	0,018	1,000	139,798	2814,677	0,050	0,241	33,710
23	802,174	0,025	0,039	0,857	0,185	235,072	0,447	0,019	1,000	139,798	2797,728	0,050	0,241	33,693
24	808,517	0,025	0,039	0,862	0,193	247,198	0,440	0,020	1,000	139,798	2781,094	0,050	0,241	33,676
25	814,603	0,025	0,039	0,867	0,200	258,944	0,434	0,020	1,000	139,798	2764,760	0,051	0,241	33,660
26	820,450	0,025	0,039	0,871	0,207	270,330	0,428	0,021	1,000	139,798	2748,710	0,051	0,241	33,643
27	826,079	0,025	0,039	0,876	0,214	281,376	0,422	0,022	1,000	139,798	2732,932	0,051	0,241	33,627
28	831,503	0,025	0,039	0,880	0,221	292,098	0,417	0,023	1,000	139,798	2717,413	0,051	0,240	33,611
29	836,738	0,025	0,039	0,883	0,227	302,513	0,412	0,023	1,000	139,798	2702,141	0,052	0,240	33,594
30	841,796	0,025	0,039	0,887	0,233	312,637	0,407	0,024	1,000	139,798	2687,105	0,052	0,240	33,578

31	846,689	0,025	0,039	0,890	0,239	322,485	0,403	0,025	1,000	139,798	2672,294	0,052	0,240	33,562
32	851,427	0,025	0,039	0,893	0,245	332,069	0,399	0,025	1,000	139,798	2657,699	0,053	0,240	33,546
33	856,020	0,025	0,039	0,896	0,250	341,402	0,395	0,026	1,000	139,798	2643,310	0,053	0,240	33,530
34	860,476	0,025	0,039	0,898	0,256	350,496	0,391	0,027	1,000	139,798	2629,119	0,053	0,240	33,514
35	864,804	0,025	0,039	0,901	0,261	359,363	0,388	0,027	1,000	139,798	2615,118	0,053	0,240	33,498
36	869,010	0,025	0,039	0,903	0,266	368,012	0,384	0,028	1,000	139,798	2601,299	0,054	0,240	33,482
37	873,101	0,025	0,039	0,906	0,271	376,453	0,381	0,029	1,000	139,798	2587,655	0,054	0,239	33,466
38	877,083	0,025	0,039	0,908	0,276	384,695	0,378	0,029	1,000	139,798	2574,180	0,054	0,239	33,450
39	880,963	0,025	0,039	0,910	0,280	392,747	0,375	0,030	1,000	139,798	2560,867	0,055	0,239	33,435
40	884,744	0,025	0,039	0,912	0,285	400,617	0,373	0,031	1,000	139,798	2547,710	0,055	0,239	33,419
41	888,433	0,025	0,039	0,914	0,289	408,312	0,370	0,031	1,000	139,798	2534,704	0,055	0,239	33,403
42	892,032	0,025	0,039	0,916	0,294	415,840	0,367	0,032	1,000	139,798	2521,843	0,055	0,239	33,387
43	895,548	0,025	0,039	0,917	0,298	423,207	0,365	0,032	1,000	139,798	2509,123	0,056	0,239	33,372
44	898,982	0,025	0,039	0,919	0,302	430,419	0,362	0,033	1,000	139,798	2496,539	0,056	0,239	33,356
45	902,340	0,025	0,039	0,921	0,306	437,483	0,360	0,034	1,000	139,798	2484,086	0,056	0,238	33,340
46	905,624	0,025	0,039	0,922	0,310	444,404	0,358	0,034	1,000	139,798	2471,760	0,057	0,238	33,325
47	908,838	0,025	0,039	0,924	0,314	451,187	0,356	0,035	1,000	139,798	2459,557	0,057	0,238	33,309
48	911,984	0,025	0,039	0,925	0,318	457,838	0,354	0,035	1,000	139,798	2447,473	0,057	0,238	33,293
49	915,065	0,025	0,039	0,926	0,321	464,361	0,352	0,036	1,000	139,798	2435,505	0,057	0,238	33,278
50	918,085	0,025	0,039	0,928	0,325	470,761	0,350	0,036	1,000	139,798	2423,650	0,058	0,238	33,262
51	921,045	0,025	0,039	0,929	0,329	477,041	0,348	0,037	1,000	139,798	2411,903	0,058	0,238	33,246
52	923,947	0,025	0,039	0,930	0,332	483,207	0,346	0,037	1,000	139,798	2400,262	0,058	0,238	33,230
53	926,794	0,025	0,039	0,931	0,336	489,262	0,345	0,038	1,000	139,798	2388,725	0,059	0,238	33,215
54	929,588	0,025	0,039	0,932	0,339	495,210	0,343	0,039	1,000	139,798	2377,287	0,059	0,237	33,199
55	932,331	0,025	0,039	0,933	0,342	501,054	0,341	0,039	0,999	139,661	2365,947	0,059	0,237	33,140
56	935,025	0,025	0,039	0,935	0,345	506,798	0,340	0,040	0,994	138,911	2354,701	0,059	0,237	32,891
57	937,671	0,025	0,039	0,936	0,349	512,444	0,338	0,040	0,988	138,175	2343,548	0,059	0,236	32,647
58	940,271	0,025	0,039	0,937	0,352	517,997	0,337	0,041	0,983	137,450	2332,485	0,059	0,236	32,406
59	942,827	0,025	0,039	0,937	0,355	523,458	0,335	0,041	0,978	136,738	2321,509	0,059	0,235	32,169
60	945,340	0,025	0,039	0,938	0,358	528,830	0,334	0,042	0,973	136,037	2310,619	0,059	0,235	31,936
61	947,812	0,025	0,039	0,939	0,361	534,117	0,333	0,042	0,968	135,347	2299,813	0,059	0,234	31,707
62	950,243	0,025	0,039	0,940	0,364	539,321	0,331	0,043	0,963	134,668	2289,088	0,059	0,234	31,481
63	952,636	0,025	0,039	0,941	0,367	544,443	0,330	0,043	0,959	133,999	2278,442	0,059	0,233	31,259

64	954,990	0,025	0,039	0,942	0,370	549,488	0,329	0,044	0,954	133,341	2267,874	0,059	0,233	31,040
65	957,309	0,025	0,039	0,943	0,372	554,455	0,327	0,044	0,949	132,693	2257,382	0,059	0,232	30,825
66	959,592	0,025	0,039	0,943	0,375	559,349	0,326	0,045	0,945	132,054	2246,964	0,059	0,232	30,613
67	961,841	0,025	0,039	0,944	0,378	564,171	0,325	0,045	0,940	131,425	2236,619	0,059	0,231	30,404
68	964,057	0,025	0,039	0,945	0,380	568,923	0,324	0,046	0,936	130,805	2226,344	0,059	0,231	30,198
69	966,240	0,025	0,039	0,946	0,383	573,606	0,323	0,046	0,931	130,194	2216,139	0,059	0,230	29,994
70	968,392	0,025	0,039	0,946	0,386	578,223	0,322	0,047	0,927	129,592	2206,002	0,059	0,230	29,794
71	970,514	0,025	0,039	0,947	0,388	582,775	0,321	0,047	0,923	128,998	2195,931	0,059	0,229	29,597
72	972,606	0,025	0,039	0,948	0,391	587,265	0,319	0,048	0,919	128,412	2185,926	0,059	0,229	29,402
73	974,669	0,025	0,039	0,948	0,393	591,693	0,318	0,048	0,914	127,834	2175,984	0,059	0,229	29,210
74	976,704	0,025	0,039	0,949	0,396	596,061	0,317	0,048	0,910	127,264	2166,105	0,059	0,228	29,021
75	978,712	0,025	0,039	0,949	0,398	600,371	0,316	0,049	0,906	126,702	2156,287	0,059	0,228	28,834
76	980,693	0,025	0,039	0,950	0,400	604,624	0,315	0,049	0,902	126,147	2146,529	0,059	0,227	28,649
77	982,648	0,025	0,039	0,951	0,403	608,822	0,315	0,050	0,898	125,599	2136,830	0,059	0,227	28,467
78	984,579	0,025	0,039	0,951	0,405	612,965	0,314	0,050	0,895	125,059	2127,189	0,059	0,226	28,288
79	986,484	0,025	0,039	0,952	0,407	617,056	0,313	0,051	0,891	124,525	2117,604	0,059	0,226	28,110
80	988,366	0,025	0,039	0,952	0,410	621,095	0,312	0,051	0,887	123,998	2108,075	0,059	0,225	27,935
81	990,224	0,025	0,039	0,953	0,412	625,083	0,311	0,052	0,883	123,478	2098,601	0,059	0,225	27,762
82	992,060	0,025	0,039	0,953	0,414	629,023	0,310	0,052	0,880	122,964	2089,181	0,059	0,224	27,591
83	993,873	0,025	0,039	0,954	0,416	632,914	0,309	0,053	0,876	122,456	2079,813	0,059	0,224	27,423
84	995,665	0,025	0,039	0,954	0,418	636,759	0,308	0,053	0,872	121,954	2070,497	0,059	0,223	27,256
85	997,436	0,025	0,039	0,955	0,421	640,557	0,308	0,053	0,869	121,459	2061,231	0,059	0,223	27,091
86	999,186	0,025	0,039	0,955	0,423	644,310	0,307	0,054	0,865	120,969	2052,016	0,059	0,223	26,929
87	1000,915	0,025	0,039	0,956	0,425	648,020	0,306	0,054	0,862	120,485	2042,850	0,059	0,222	26,768
88	1002,625	0,025	0,039	0,956	0,427	651,686	0,305	0,055	0,858	120,006	2033,732	0,059	0,222	26,609
89	1004,316	0,025	0,039	0,956	0,429	655,311	0,305	0,055	0,855	119,534	2024,662	0,059	0,221	26,452
90	1005,988	0,025	0,039	0,957	0,431	658,894	0,304	0,056	0,852	119,066	2015,638	0,059	0,221	26,296
91	1007,641	0,025	0,039	0,957	0,433	662,437	0,303	0,056	0,848	118,604	2006,661	0,059	0,220	26,143
92	1009,276	0,025	0,039	0,958	0,435	665,941	0,302	0,056	0,845	118,147	1997,728	0,059	0,220	25,991
93	1010,894	0,025	0,039	0,958	0,437	669,405	0,302	0,057	0,842	117,695	1988,840	0,059	0,220	25,841
94	1012,494	0,025	0,039	0,959	0,439	672,832	0,301	0,057	0,839	117,247	1979,996	0,059	0,219	25,692
95	1014,078	0,025	0,039	0,959	0,441	676,222	0,300	0,058	0,836	116,805	1971,195	0,059	0,219	25,545
96	1015,645	0,025	0,039	0,959	0,443	679,576	0,300	0,058	0,832	116,368	1962,436	0,059	0,218	25,400

97	1017,195	0,025	0,039	0,960	0,444	682,893	0,299	0,058	0,829	115,935	1953,719	0,059	0,218	25,256
98	1018,730	0,025	0,039	0,960	0,446	686,176	0,298	0,059	0,826	115,506	1945,044	0,059	0,217	25,113
99	1020,249	0,025	0,039	0,960	0,448	689,425	0,298	0,059	0,823	115,082	1936,408	0,059	0,217	24,973
100	1021,753	0,025	0,039	0,961	0,450	692,640	0,297	0,060	0,820	114,663	1927,813	0,059	0,217	24,833
101	1023,242	0,025	0,039	0,961	0,452	695,822	0,296	0,060	0,817	114,248	1919,257	0,060	0,216	24,695
102	1024,717	0,025	0,039	0,961	0,453	698,972	0,296	0,060	0,814	113,837	1910,740	0,060	0,216	24,559
103	1026,177	0,025	0,039	0,962	0,455	702,090	0,295	0,061	0,811	113,430	1902,262	0,060	0,215	24,423
104	1027,623	0,025	0,039	0,962	0,457	705,176	0,295	0,061	0,809	113,027	1893,820	0,060	0,215	24,290
105	1029,055	0,025	0,039	0,962	0,459	708,233	0,294	0,062	0,806	112,628	1885,416	0,060	0,214	24,157
106	1030,473	0,025	0,039	0,963	0,460	711,259	0,293	0,062	0,803	112,234	1877,049	0,060	0,214	24,026
107	1031,878	0,025	0,039	0,963	0,462	714,256	0,293	0,062	0,800	111,843	1868,718	0,060	0,214	23,896
108	1033,271	0,025	0,039	0,963	0,464	717,224	0,292	0,063	0,797	111,455	1860,422	0,060	0,213	23,767
109	1034,650	0,025	0,039	0,964	0,465	720,163	0,292	0,063	0,795	111,072	1852,162	0,060	0,213	23,640
110	1036,017	0,025	0,039	0,964	0,467	723,075	0,291	0,064	0,792	110,692	1843,936	0,060	0,212	23,513
111	1037,371	0,025	0,039	0,964	0,469	725,959	0,291	0,064	0,789	110,316	1835,745	0,060	0,212	23,388
112	1038,713	0,025	0,039	0,964	0,470	728,816	0,290	0,064	0,786	109,943	1827,587	0,060	0,212	23,264
113	1040,044	0,025	0,039	0,965	0,472	731,647	0,290	0,065	0,784	109,573	1819,463	0,060	0,211	23,142
114	1041,362	0,025	0,039	0,965	0,473	734,451	0,289	0,065	0,781	109,207	1811,371	0,060	0,211	23,020
115	1042,670	0,025	0,039	0,965	0,475	737,230	0,289	0,065	0,779	108,845	1803,312	0,060	0,210	22,900
116	1043,965	0,025	0,039	0,966	0,477	739,984	0,288	0,066	0,776	108,486	1795,285	0,060	0,210	22,780
117	1045,250	0,025	0,039	0,966	0,478	742,713	0,288	0,066	0,773	108,129	1787,290	0,060	0,210	22,662
118	1046,524	0,025	0,039	0,966	0,480	745,418	0,287	0,067	0,771	107,777	1779,326	0,061	0,209	22,544
119	1047,787	0,025	0,039	0,966	0,481	748,099	0,287	0,067	0,768	107,427	1771,393	0,061	0,209	22,428
120	1049,040	0,025	0,039	0,967	0,483	750,756	0,286	0,067	0,766	107,080	1763,490	0,061	0,208	22,313

Resistência residual da viga considerando isotérmica 300 e propriedades residuais

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'(300)	x'(300)	ks (θ)	Fs	Fcx	x	z	Mrd,res 300 Res (KNm)
0	20,000	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,000	1,000	139,798	3200,000	0,044	0,244	34,044
1	349,214	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	0,927	0,001	1,000	139,798	3177,885	0,044	0,243	34,027
2	444,505	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	0,822	0,002	1,000	139,798	3158,095	0,044	0,243	34,012
3	502,289	0,025	0,039	0,140	0,000	20,000	0,737	0,003	1,000	139,798	3135,069	0,045	0,243	33,994
4	543,887	0,025	0,039	0,332	0,000	20,000	0,630	0,005	1,000	139,798	3099,045	0,045	0,243	33,965
5	576,410	0,025	0,039	0,451	0,000	20,000	0,545	0,007	1,000	139,798	3056,996	0,046	0,243	33,930
6	603,118	0,025	0,039	0,533	0,000	20,000	0,481	0,009	1,000	139,798	3013,133	0,046	0,242	33,893
7	625,777	0,025	0,039	0,592	0,000	20,000	0,434	0,011	1,000	139,798	2970,090	0,047	0,242	33,855
8	645,455	0,025	0,039	0,637	0,000	20,000	0,399	0,013	1,000	139,798	2928,949	0,048	0,242	33,818
9	662,846	0,025	0,039	0,673	0,016	20,000	0,372	0,015	1,000	139,798	2889,969	0,048	0,242	33,782
10	678,427	0,025	0,039	0,702	0,035	33,365	0,350	0,016	1,000	139,798	2853,078	0,049	0,241	33,747
11	692,540	0,025	0,039	0,726	0,053	51,969	0,333	0,018	1,000	139,798	2818,093	0,050	0,241	33,713
12	705,436	0,025	0,039	0,746	0,068	70,186	0,318	0,019	1,000	139,798	2784,810	0,050	0,241	33,680
13	717,310	0,025	0,039	0,763	0,083	87,900	0,306	0,021	1,000	139,798	2753,039	0,051	0,241	33,648
14	728,312	0,025	0,039	0,778	0,096	105,054	0,296	0,022	1,000	139,798	2722,611	0,051	0,240	33,616
15	738,561	0,025	0,039	0,791	0,108	121,631	0,287	0,024	1,000	139,798	2693,379	0,052	0,240	33,585
16	748,153	0,025	0,039	0,803	0,120	137,630	0,279	0,025	1,000	139,798	2665,219	0,052	0,240	33,554
17	757,169	0,025	0,039	0,813	0,131	153,064	0,272	0,026	1,000	139,798	2638,025	0,053	0,240	33,524
18	765,672	0,025	0,039	0,822	0,141	167,954	0,266	0,028	1,000	139,798	2611,704	0,054	0,240	33,494
19	773,719	0,025	0,039	0,831	0,151	182,322	0,260	0,029	1,000	139,798	2586,178	0,054	0,239	33,465
20	781,355	0,025	0,039	0,838	0,160	196,194	0,255	0,030	1,000	139,798	2561,380	0,055	0,239	33,435
21	788,621	0,025	0,039	0,845	0,169	209,593	0,251	0,031	1,000	139,798	2537,248	0,055	0,239	33,406
22	795,551	0,025	0,039	0,851	0,177	222,544	0,247	0,032	1,000	139,798	2513,733	0,056	0,239	33,377
23	802,174	0,025	0,039	0,857	0,185	235,072	0,243	0,033	1,000	139,798	2490,787	0,056	0,239	33,349
24	808,517	0,025	0,039	0,862	0,193	247,198	0,239	0,034	1,000	139,798	2468,371	0,057	0,238	33,320
25	814,603	0,025	0,039	0,867	0,200	258,944	0,236	0,035	1,000	139,798	2446,448	0,057	0,238	33,292
26	820,450	0,025	0,039	0,871	0,207	270,330	0,233	0,036	1,000	139,798	2424,987	0,058	0,238	33,264
27	826,079	0,025	0,039	0,876	0,214	281,376	0,230	0,037	1,000	139,798	2403,958	0,058	0,238	33,235
28	831,503	0,025	0,039	0,880	0,221	292,098	0,227	0,038	1,000	139,798	2383,336	0,059	0,238	33,207
29	836,738	0,025	0,039	0,883	0,227	302,513	0,225	0,039	1,000	139,798	2363,097	0,059	0,237	33,147
30	841,796	0,025	0,039	0,887	0,233	312,637	0,223	0,040	1,000	139,798	2343,220	0,060	0,236	32,989

31	846,689	0,025	0,039	0,890	0,239	322,485	0,220	0,041	1,000	139,798	2323,685	0,060	0,235	32,833
32	851,427	0,025	0,039	0,893	0,245	332,069	0,218	0,042	1,000	139,798	2304,474	0,061	0,234	32,679
33	856,020	0,025	0,039	0,896	0,250	341,402	0,216	0,043	1,000	139,798	2285,572	0,061	0,233	32,527
34	860,476	0,025	0,039	0,898	0,256	350,496	0,214	0,044	1,000	139,798	2266,964	0,062	0,232	32,377
35	864,804	0,025	0,039	0,901	0,261	359,363	0,213	0,045	1,000	139,798	2248,635	0,062	0,231	32,229
36	869,010	0,025	0,039	0,903	0,266	368,012	0,211	0,045	1,000	139,798	2230,573	0,063	0,229	32,082
37	873,101	0,025	0,039	0,906	0,271	376,453	0,209	0,046	1,000	139,798	2212,766	0,063	0,228	31,937
38	877,083	0,025	0,039	0,908	0,276	384,695	0,208	0,047	1,000	139,798	2195,203	0,064	0,227	31,794
39	880,963	0,025	0,039	0,910	0,280	392,747	0,206	0,048	1,000	139,798	2177,874	0,064	0,226	31,652
40	884,744	0,025	0,039	0,912	0,285	400,617	0,205	0,049	1,000	139,798	2160,770	0,065	0,225	31,511
41	888,433	0,025	0,039	0,914	0,289	408,312	0,204	0,050	1,000	139,798	2143,882	0,065	0,224	31,372
42	892,032	0,025	0,039	0,916	0,294	415,840	0,202	0,050	1,000	139,798	2127,201	0,066	0,223	31,234
43	895,548	0,025	0,039	0,917	0,298	423,207	0,201	0,051	1,000	139,798	2110,719	0,066	0,222	31,098
44	898,982	0,025	0,039	0,919	0,302	430,419	0,200	0,052	1,000	139,798	2094,430	0,067	0,221	30,962
45	902,340	0,025	0,039	0,921	0,306	437,483	0,199	0,053	1,000	139,798	2078,326	0,067	0,221	30,828
46	905,624	0,025	0,039	0,922	0,310	444,404	0,197	0,053	1,000	139,798	2062,402	0,068	0,220	30,694
47	908,838	0,025	0,039	0,924	0,314	451,187	0,196	0,054	1,000	139,798	2046,650	0,068	0,219	30,562
48	911,984	0,025	0,039	0,925	0,318	457,838	0,195	0,055	1,000	139,798	2031,065	0,069	0,218	30,430
49	915,065	0,025	0,039	0,926	0,321	464,361	0,194	0,056	1,000	139,798	2015,643	0,069	0,217	30,300
50	918,085	0,025	0,039	0,928	0,325	470,761	0,193	0,056	1,000	139,798	2000,377	0,070	0,216	30,170
51	921,045	0,025	0,039	0,929	0,329	477,041	0,192	0,057	1,000	139,798	1985,262	0,070	0,215	30,042
52	923,947	0,025	0,039	0,930	0,332	483,207	0,192	0,058	1,000	139,798	1970,295	0,071	0,214	29,914
53	926,794	0,025	0,039	0,931	0,336	489,262	0,191	0,058	1,000	139,798	1955,470	0,071	0,213	29,786
54	929,588	0,025	0,039	0,932	0,339	495,210	0,190	0,059	1,000	139,798	1940,785	0,072	0,212	29,660
55	932,331	0,025	0,039	0,933	0,342	501,054	0,189	0,060	0,999	139,661	1926,233	0,073	0,211	29,509
56	935,025	0,025	0,039	0,935	0,345	506,798	0,188	0,060	0,994	138,911	1911,813	0,073	0,211	29,248
57	937,671	0,025	0,039	0,936	0,349	512,444	0,187	0,061	0,988	138,175	1897,519	0,073	0,210	28,992
58	940,271	0,025	0,039	0,937	0,352	517,997	0,187	0,062	0,983	137,450	1883,350	0,073	0,209	28,739
59	942,827	0,025	0,039	0,937	0,355	523,458	0,186	0,062	0,978	136,738	1869,301	0,073	0,208	28,491
60	945,340	0,025	0,039	0,938	0,358	528,830	0,185	0,063	0,973	136,037	1855,369	0,073	0,208	28,247
61	947,812	0,025	0,039	0,939	0,361	534,117	0,184	0,064	0,968	135,347	1841,552	0,073	0,207	28,007
62	950,243	0,025	0,039	0,940	0,364	539,321	0,184	0,064	0,963	134,668	1827,846	0,074	0,206	27,770
63	952,636	0,025	0,039	0,941	0,367	544,443	0,183	0,065	0,959	133,999	1814,248	0,074	0,205	27,537

64	954,990	0,025	0,039	0,942	0,370	549,488	0,182	0,066	0,954	133,341	1800,757	0,074	0,205	27,307
65	957,309	0,025	0,039	0,943	0,372	554,455	0,182	0,066	0,949	132,693	1787,369	0,074	0,204	27,081
66	959,592	0,025	0,039	0,943	0,375	559,349	0,181	0,067	0,945	132,054	1774,083	0,074	0,203	26,858
67	961,841	0,025	0,039	0,944	0,378	564,171	0,181	0,067	0,940	131,425	1760,895	0,075	0,203	26,638
68	964,057	0,025	0,039	0,945	0,380	568,923	0,180	0,068	0,936	130,805	1747,803	0,075	0,202	26,422
69	966,240	0,025	0,039	0,946	0,383	573,606	0,179	0,069	0,931	130,194	1734,806	0,075	0,201	26,208
70	968,392	0,025	0,039	0,946	0,386	578,223	0,179	0,069	0,927	129,592	1721,901	0,075	0,201	25,997
71	970,514	0,025	0,039	0,947	0,388	582,775	0,178	0,070	0,923	128,998	1709,086	0,075	0,200	25,790
72	972,606	0,025	0,039	0,948	0,391	587,265	0,178	0,070	0,919	128,412	1696,359	0,076	0,199	25,584
73	974,669	0,025	0,039	0,948	0,393	591,693	0,177	0,071	0,914	127,834	1683,719	0,076	0,199	25,382
74	976,704	0,025	0,039	0,949	0,396	596,061	0,177	0,072	0,910	127,264	1671,163	0,076	0,198	25,182
75	978,712	0,025	0,039	0,949	0,398	600,371	0,176	0,072	0,906	126,702	1658,690	0,076	0,197	24,985
76	980,693	0,025	0,039	0,950	0,400	604,624	0,176	0,073	0,902	126,147	1646,298	0,077	0,197	24,790
77	982,648	0,025	0,039	0,951	0,403	608,822	0,175	0,073	0,898	125,599	1633,986	0,077	0,196	24,598
78	984,579	0,025	0,039	0,951	0,405	612,965	0,175	0,074	0,895	125,059	1621,752	0,077	0,195	24,408
79	986,484	0,025	0,039	0,952	0,407	617,056	0,174	0,075	0,891	124,525	1609,594	0,077	0,195	24,221
80	988,366	0,025	0,039	0,952	0,410	621,095	0,174	0,075	0,887	123,998	1597,511	0,078	0,194	24,035
81	990,224	0,025	0,039	0,953	0,412	625,083	0,173	0,076	0,883	123,478	1585,502	0,078	0,193	23,852
82	992,060	0,025	0,039	0,953	0,414	629,023	0,173	0,076	0,880	122,964	1573,564	0,078	0,193	23,671
83	993,873	0,025	0,039	0,954	0,416	632,914	0,172	0,077	0,876	122,456	1561,698	0,078	0,192	23,492
84	995,665	0,025	0,039	0,954	0,418	636,759	0,172	0,077	0,872	121,954	1549,901	0,079	0,191	23,315
85	997,436	0,025	0,039	0,955	0,421	640,557	0,172	0,078	0,869	121,459	1538,173	0,079	0,191	23,140
86	999,186	0,025	0,039	0,955	0,423	644,310	0,171	0,078	0,865	120,969	1526,511	0,079	0,190	22,967
87	1000,915	0,025	0,039	0,956	0,425	648,020	0,171	0,079	0,862	120,485	1514,915	0,080	0,189	22,796
88	1002,625	0,025	0,039	0,956	0,427	651,686	0,170	0,080	0,858	120,006	1503,385	0,080	0,189	22,626
89	1004,316	0,025	0,039	0,956	0,429	655,311	0,170	0,080	0,855	119,534	1491,917	0,080	0,188	22,459
90	1005,988	0,025	0,039	0,957	0,431	658,894	0,170	0,081	0,852	119,066	1480,512	0,080	0,187	22,293
91	1007,641	0,025	0,039	0,957	0,433	662,437	0,169	0,081	0,848	118,604	1469,169	0,081	0,187	22,129
92	1009,276	0,025	0,039	0,958	0,435	665,941	0,169	0,082	0,845	118,147	1457,886	0,081	0,186	21,966
93	1010,894	0,025	0,039	0,958	0,437	669,405	0,168	0,082	0,842	117,695	1446,663	0,081	0,185	21,805
94	1012,494	0,025	0,039	0,959	0,439	672,832	0,168	0,083	0,839	117,247	1435,498	0,082	0,185	21,646
95	1014,078	0,025	0,039	0,959	0,441	676,222	0,168	0,083	0,836	116,805	1424,391	0,082	0,184	21,488
96	1015,645	0,025	0,039	0,959	0,443	679,576	0,167	0,084	0,832	116,368	1413,340	0,082	0,183	21,332

97	1017,195	0,025	0,039	0,960	0,444	682,893	0,167	0,084	0,829	115,935	1402,345	0,083	0,183	21,177
98	1018,730	0,025	0,039	0,960	0,446	686,176	0,167	0,085	0,826	115,506	1391,406	0,083	0,182	21,024
99	1020,249	0,025	0,039	0,960	0,448	689,425	0,166	0,085	0,823	115,082	1380,520	0,083	0,181	20,872
100	1021,753	0,025	0,039	0,961	0,450	692,640	0,166	0,086	0,820	114,663	1369,687	0,084	0,181	20,722
101	1023,242	0,025	0,039	0,961	0,452	695,822	0,166	0,086	0,817	114,248	1358,907	0,084	0,180	20,573
102	1024,717	0,025	0,039	0,961	0,453	698,972	0,165	0,087	0,814	113,837	1348,178	0,084	0,179	20,425
103	1026,177	0,025	0,039	0,962	0,455	702,090	0,165	0,087	0,811	113,430	1337,500	0,085	0,179	20,278
104	1027,623	0,025	0,039	0,962	0,457	705,176	0,165	0,088	0,809	113,027	1326,873	0,085	0,178	20,133
105	1029,055	0,025	0,039	0,962	0,459	708,233	0,164	0,088	0,806	112,628	1316,294	0,086	0,177	19,989
106	1030,473	0,025	0,039	0,963	0,460	711,259	0,164	0,089	0,803	112,234	1305,765	0,086	0,177	19,846
107	1031,878	0,025	0,039	0,963	0,462	714,256	0,164	0,089	0,800	111,843	1295,283	0,086	0,176	19,704
108	1033,271	0,025	0,039	0,963	0,464	717,224	0,164	0,090	0,797	111,455	1284,849	0,087	0,176	19,564
109	1034,650	0,025	0,039	0,964	0,465	720,163	0,163	0,090	0,795	111,072	1274,462	0,087	0,175	19,424
110	1036,017	0,025	0,039	0,964	0,467	723,075	0,163	0,091	0,792	110,692	1264,120	0,088	0,174	19,286
111	1037,371	0,025	0,039	0,964	0,469	725,959	0,163	0,091	0,789	110,316	1253,824	0,088	0,174	19,149
112	1038,713	0,025	0,039	0,964	0,470	728,816	0,162	0,092	0,786	109,943	1243,573	0,088	0,173	19,012
113	1040,044	0,025	0,039	0,965	0,472	731,647	0,162	0,092	0,784	109,573	1233,366	0,089	0,172	18,877
114	1041,362	0,025	0,039	0,965	0,473	734,451	0,162	0,093	0,781	109,207	1223,203	0,089	0,172	18,743
115	1042,670	0,025	0,039	0,965	0,475	737,230	0,162	0,093	0,779	108,845	1213,082	0,090	0,171	18,610
116	1043,965	0,025	0,039	0,966	0,477	739,984	0,161	0,094	0,776	108,486	1203,004	0,090	0,170	18,477
117	1045,250	0,025	0,039	0,966	0,478	742,713	0,161	0,094	0,773	108,129	1192,968	0,091	0,170	18,346
118	1046,524	0,025	0,039	0,966	0,480	745,418	0,161	0,095	0,771	107,777	1182,974	0,091	0,169	18,215
119	1047,787	0,025	0,039	0,966	0,481	748,099	0,161	0,095	0,768	107,427	1173,020	0,092	0,168	18,086
120	1049,040	0,025	0,039	0,967	0,483	750,756	0,160	0,095	0,766	107,080	1163,106	0,092	0,168	17,957

Resistência residual da viga considerando isotérmica 500 e propriedades EN 1992-1-2

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'(500)	x'(500)	ks (θ)	Fs	Fcx	x	z	Mrd,res 500 EN (KNm)
0	20,000	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,000	1,000	139,798	3200,000	0,044	0,244	34,044
1	349,214	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	139,798	3181,951	0,044	0,243	34,031
2	444,505	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	139,798	3174,475	0,044	0,243	34,025
3	502,289	0,025	0,039	0,140	0,000	20,000	0,997	0,001	1,000	139,798	3168,507	0,044	0,243	34,020
4	543,887	0,025	0,039	0,332	0,000	20,000	0,939	0,002	1,000	139,798	3157,192	0,044	0,243	34,011
5	576,410	0,025	0,039	0,451	0,000	20,000	0,878	0,003	1,000	139,798	3143,340	0,044	0,243	34,000
6	603,118	0,025	0,039	0,533	0,000	20,000	0,819	0,003	1,000	139,798	3126,976	0,045	0,243	33,987
7	625,777	0,025	0,039	0,592	0,000	20,000	0,766	0,004	1,000	139,798	3108,536	0,045	0,243	33,973
8	645,455	0,025	0,039	0,637	0,000	20,000	0,719	0,005	1,000	139,798	3088,644	0,045	0,243	33,956
9	662,846	0,025	0,039	0,673	0,016	20,000	0,679	0,006	1,000	139,798	3067,899	0,046	0,243	33,939
10	678,427	0,025	0,039	0,702	0,035	33,365	0,644	0,007	1,000	139,798	3046,770	0,046	0,243	33,922
11	692,540	0,025	0,039	0,726	0,053	51,969	0,615	0,008	1,000	139,798	3025,586	0,046	0,243	33,904
12	705,436	0,025	0,039	0,746	0,068	70,186	0,590	0,009	1,000	139,798	3004,557	0,047	0,242	33,885
13	717,310	0,025	0,039	0,763	0,083	87,900	0,568	0,010	1,000	139,798	2983,814	0,047	0,242	33,867
14	728,312	0,025	0,039	0,778	0,096	105,054	0,549	0,011	0,995	139,092	2963,428	0,047	0,242	33,692
15	738,561	0,025	0,039	0,791	0,108	121,631	0,532	0,012	0,978	136,774	2943,439	0,046	0,242	33,156
16	748,153	0,025	0,039	0,803	0,120	137,630	0,517	0,013	0,962	134,538	2923,861	0,046	0,243	32,638
17	757,169	0,025	0,039	0,813	0,131	153,064	0,504	0,014	0,947	132,380	2904,695	0,046	0,243	32,138
18	765,672	0,025	0,039	0,822	0,141	167,954	0,492	0,015	0,932	130,298	2885,935	0,045	0,243	31,655
19	773,719	0,025	0,039	0,831	0,151	182,322	0,481	0,016	0,918	128,290	2867,569	0,045	0,243	31,188
20	781,355	0,025	0,039	0,838	0,160	196,194	0,471	0,016	0,904	126,351	2849,581	0,044	0,243	30,737
21	788,621	0,025	0,039	0,845	0,169	209,593	0,463	0,017	0,890	124,477	2831,956	0,044	0,243	30,300
22	795,551	0,025	0,039	0,851	0,177	222,544	0,454	0,018	0,877	122,667	2814,677	0,044	0,244	29,878
23	802,174	0,025	0,039	0,857	0,185	235,072	0,447	0,019	0,865	120,915	2797,728	0,043	0,244	29,469
24	808,517	0,025	0,039	0,862	0,193	247,198	0,440	0,020	0,853	119,220	2781,094	0,043	0,244	29,072
25	814,603	0,025	0,039	0,867	0,200	258,944	0,434	0,020	0,841	117,578	2764,760	0,043	0,244	28,688
26	820,450	0,025	0,039	0,871	0,207	270,330	0,428	0,021	0,830	115,986	2748,710	0,042	0,244	28,315
27	826,079	0,025	0,039	0,876	0,214	281,376	0,422	0,022	0,819	114,442	2732,932	0,042	0,244	27,953
28	831,503	0,025	0,039	0,880	0,221	292,098	0,417	0,023	0,808	112,943	2717,413	0,042	0,244	27,601
29	836,738	0,025	0,039	0,883	0,227	302,513	0,412	0,023	0,797	111,487	2702,141	0,041	0,244	27,258
30	841,796	0,025	0,039	0,887	0,233	312,637	0,407	0,024	0,787	110,072	2687,105	0,041	0,245	26,925

31	846,689	0,025	0,039	0,890	0,239	322,485	0,403	0,025	0,778	108,695	2672,294	0,041	0,245	26,601
32	851,427	0,025	0,039	0,893	0,245	332,069	0,399	0,025	0,768	107,355	2657,699	0,040	0,245	26,285
33	856,020	0,025	0,039	0,896	0,250	341,402	0,395	0,026	0,759	106,051	2643,310	0,040	0,245	25,977
34	860,476	0,025	0,039	0,898	0,256	350,496	0,391	0,027	0,750	104,779	2629,119	0,040	0,245	25,677
35	864,804	0,025	0,039	0,901	0,261	359,363	0,388	0,027	0,741	103,540	2615,118	0,040	0,245	25,384
36	869,010	0,025	0,039	0,903	0,266	368,012	0,384	0,028	0,732	102,331	2601,299	0,039	0,245	25,098
37	873,101	0,025	0,039	0,906	0,271	376,453	0,381	0,029	0,724	101,151	2587,655	0,039	0,245	24,819
38	877,083	0,025	0,039	0,908	0,276	384,695	0,378	0,029	0,715	99,998	2574,180	0,039	0,245	24,546
39	880,963	0,025	0,039	0,910	0,280	392,747	0,375	0,030	0,707	98,873	2560,867	0,039	0,246	24,279
40	884,744	0,025	0,039	0,912	0,285	400,617	0,373	0,031	0,699	97,747	2547,710	0,038	0,246	24,012
41	888,433	0,025	0,039	0,914	0,289	408,312	0,370	0,031	0,689	96,348	2534,704	0,038	0,246	23,682
42	892,032	0,025	0,039	0,916	0,294	415,840	0,367	0,032	0,679	94,980	2521,843	0,038	0,246	23,359
43	895,548	0,025	0,039	0,917	0,298	423,207	0,365	0,032	0,670	93,641	2509,123	0,037	0,246	23,042
44	898,982	0,025	0,039	0,919	0,302	430,419	0,362	0,033	0,660	92,330	2496,539	0,037	0,246	22,732
45	902,340	0,025	0,039	0,921	0,306	437,483	0,360	0,034	0,651	91,047	2484,086	0,037	0,246	22,428
46	905,624	0,025	0,039	0,922	0,310	444,404	0,358	0,034	0,642	89,789	2471,760	0,036	0,246	22,130
47	908,838	0,025	0,039	0,924	0,314	451,187	0,356	0,035	0,633	88,556	2459,557	0,036	0,247	21,838
48	911,984	0,025	0,039	0,925	0,318	457,838	0,354	0,035	0,625	87,347	2447,473	0,036	0,247	21,551
49	915,065	0,025	0,039	0,926	0,321	464,361	0,352	0,036	0,616	86,162	2435,505	0,035	0,247	21,269
50	918,085	0,025	0,039	0,928	0,325	470,761	0,350	0,036	0,608	84,999	2423,650	0,035	0,247	20,992
51	921,045	0,025	0,039	0,929	0,329	477,041	0,348	0,037	0,600	83,857	2411,903	0,035	0,247	20,721
52	923,947	0,025	0,039	0,930	0,332	483,207	0,346	0,037	0,592	82,737	2400,262	0,034	0,247	20,454
53	926,794	0,025	0,039	0,931	0,336	489,262	0,345	0,038	0,584	81,636	2388,725	0,034	0,247	20,191
54	929,588	0,025	0,039	0,932	0,339	495,210	0,343	0,039	0,576	80,555	2377,287	0,034	0,247	19,933
55	932,331	0,025	0,039	0,933	0,342	501,054	0,341	0,039	0,568	79,339	2365,947	0,034	0,247	19,636
56	935,025	0,025	0,039	0,935	0,345	506,798	0,340	0,040	0,554	77,452	2354,701	0,033	0,247	19,148
57	937,671	0,025	0,039	0,936	0,349	512,444	0,338	0,040	0,541	75,597	2343,548	0,032	0,247	18,669
58	940,271	0,025	0,039	0,937	0,352	517,997	0,337	0,041	0,528	73,773	2332,485	0,032	0,247	18,199
59	942,827	0,025	0,039	0,937	0,355	523,458	0,335	0,041	0,515	71,979	2321,509	0,031	0,246	17,737
60	945,340	0,025	0,039	0,938	0,358	528,830	0,334	0,042	0,502	70,214	2310,619	0,030	0,246	17,283
61	947,812	0,025	0,039	0,939	0,361	534,117	0,333	0,042	0,490	68,477	2299,813	0,030	0,246	16,838
62	950,243	0,025	0,039	0,940	0,364	539,321	0,331	0,043	0,478	66,767	2289,088	0,029	0,246	16,400
63	952,636	0,025	0,039	0,941	0,367	544,443	0,330	0,043	0,466	65,084	2278,442	0,029	0,245	15,970

64	954,990	0,025	0,039	0,942	0,370	549,488	0,329	0,044	0,454	63,427	2267,874	0,028	0,245	15,547
65	957,309	0,025	0,039	0,943	0,372	554,455	0,327	0,044	0,442	61,795	2257,382	0,027	0,245	15,131
66	959,592	0,025	0,039	0,943	0,375	559,349	0,326	0,045	0,431	60,187	2246,964	0,027	0,245	14,723
67	961,841	0,025	0,039	0,944	0,378	564,171	0,325	0,045	0,419	58,603	2236,619	0,026	0,244	14,320
68	964,057	0,025	0,039	0,945	0,380	568,923	0,324	0,046	0,408	57,042	2226,344	0,026	0,244	13,925
69	966,240	0,025	0,039	0,946	0,383	573,606	0,323	0,046	0,397	55,504	2216,139	0,025	0,244	13,535
70	968,392	0,025	0,039	0,946	0,386	578,223	0,322	0,047	0,386	53,987	2206,002	0,024	0,244	13,152
71	970,514	0,025	0,039	0,947	0,388	582,775	0,321	0,047	0,375	52,491	2195,931	0,024	0,243	12,775
72	972,606	0,025	0,039	0,948	0,391	587,265	0,319	0,048	0,365	51,016	2185,926	0,023	0,243	12,404
73	974,669	0,025	0,039	0,948	0,393	591,693	0,318	0,048	0,355	49,562	2175,984	0,023	0,243	12,038
74	976,704	0,025	0,039	0,949	0,396	596,061	0,317	0,048	0,344	48,126	2166,105	0,022	0,243	11,678
75	978,712	0,025	0,039	0,949	0,398	600,371	0,316	0,049	0,334	46,711	2156,287	0,022	0,242	11,323
76	980,693	0,025	0,039	0,950	0,400	604,624	0,315	0,049	0,324	45,313	2146,529	0,021	0,242	10,974
77	982,648	0,025	0,039	0,951	0,403	608,822	0,315	0,050	0,314	43,934	2136,830	0,021	0,242	10,629
78	984,579	0,025	0,039	0,951	0,405	612,965	0,314	0,050	0,305	42,573	2127,189	0,020	0,242	10,290
79	986,484	0,025	0,039	0,952	0,407	617,056	0,313	0,051	0,295	41,229	2117,604	0,019	0,241	9,956
80	988,366	0,025	0,039	0,952	0,410	621,095	0,312	0,051	0,285	39,902	2108,075	0,019	0,241	9,626
81	990,224	0,025	0,039	0,953	0,412	625,083	0,311	0,052	0,276	38,592	2098,601	0,018	0,241	9,301
82	992,060	0,025	0,039	0,953	0,414	629,023	0,310	0,052	0,267	37,298	2089,181	0,018	0,241	8,981
83	993,873	0,025	0,039	0,954	0,416	632,914	0,309	0,053	0,258	36,019	2079,813	0,017	0,241	8,665
84	995,665	0,025	0,039	0,954	0,418	636,759	0,308	0,053	0,249	34,756	2070,497	0,017	0,240	8,353
85	997,436	0,025	0,039	0,955	0,421	640,557	0,308	0,053	0,240	33,508	2061,231	0,016	0,240	8,046
86	999,186	0,025	0,039	0,955	0,423	644,310	0,307	0,054	0,231	32,275	2052,016	0,016	0,240	7,743
87	1000,915	0,025	0,039	0,956	0,425	648,020	0,306	0,054	0,222	31,057	2042,850	0,015	0,240	7,444
88	1002,625	0,025	0,039	0,956	0,427	651,686	0,305	0,055	0,214	29,852	2033,732	0,015	0,239	7,148
89	1004,316	0,025	0,039	0,956	0,429	655,311	0,305	0,055	0,205	28,661	2024,662	0,014	0,239	6,857
90	1005,988	0,025	0,039	0,957	0,431	658,894	0,304	0,056	0,197	27,484	2015,638	0,014	0,239	6,570
91	1007,641	0,025	0,039	0,957	0,433	662,437	0,303	0,056	0,188	26,320	2006,661	0,013	0,239	6,286
92	1009,276	0,025	0,039	0,958	0,435	665,941	0,302	0,056	0,180	25,169	1997,728	0,013	0,239	6,005
93	1010,894	0,025	0,039	0,958	0,437	669,405	0,302	0,057	0,172	24,031	1988,840	0,012	0,238	5,729
94	1012,494	0,025	0,039	0,959	0,439	672,832	0,301	0,057	0,164	22,905	1979,996	0,012	0,238	5,456
95	1014,078	0,025	0,039	0,959	0,441	676,222	0,300	0,058	0,156	21,791	1971,195	0,011	0,238	5,186
96	1015,645	0,025	0,039	0,959	0,443	679,576	0,300	0,058	0,148	20,690	1962,436	0,011	0,238	4,919

97	1017,195	0,025	0,039	0,960	0,444	682,893	0,299	0,058	0,140	19,600	1953,719	0,010	0,238	4,656
98	1018,730	0,025	0,039	0,960	0,446	686,176	0,298	0,059	0,132	18,521	1945,044	0,010	0,237	4,396
99	1020,249	0,025	0,039	0,960	0,448	689,425	0,298	0,059	0,125	17,454	1936,408	0,009	0,237	4,139
100	1021,753	0,025	0,039	0,961	0,450	692,640	0,297	0,060	0,117	16,398	1927,813	0,009	0,237	3,886
101	1023,242	0,025	0,039	0,961	0,452	695,822	0,296	0,060	0,110	15,352	1919,257	0,008	0,237	3,635
102	1024,717	0,025	0,039	0,961	0,453	698,972	0,296	0,060	0,102	14,318	1910,740	0,007	0,237	3,387
103	1026,177	0,025	0,039	0,962	0,455	702,090	0,295	0,061	0,100	13,921	1902,262	0,007	0,236	3,289
104	1027,623	0,025	0,039	0,962	0,457	705,176	0,295	0,061	0,099	13,835	1893,820	0,007	0,236	3,263
105	1029,055	0,025	0,039	0,962	0,459	708,233	0,294	0,062	0,098	13,750	1885,416	0,007	0,235	3,238
106	1030,473	0,025	0,039	0,963	0,460	711,259	0,293	0,062	0,098	13,665	1877,049	0,007	0,235	3,212
107	1031,878	0,025	0,039	0,963	0,462	714,256	0,293	0,062	0,097	13,581	1868,718	0,007	0,235	3,187
108	1033,271	0,025	0,039	0,963	0,464	717,224	0,292	0,063	0,097	13,498	1860,422	0,007	0,234	3,163
109	1034,650	0,025	0,039	0,964	0,465	720,163	0,292	0,063	0,096	13,416	1852,162	0,007	0,234	3,138
110	1036,017	0,025	0,039	0,964	0,467	723,075	0,291	0,064	0,095	13,335	1843,936	0,007	0,234	3,114
111	1037,371	0,025	0,039	0,964	0,469	725,959	0,291	0,064	0,095	13,254	1835,745	0,007	0,233	3,090
112	1038,713	0,025	0,039	0,964	0,470	728,816	0,290	0,064	0,094	13,174	1827,587	0,007	0,233	3,067
113	1040,044	0,025	0,039	0,965	0,472	731,647	0,290	0,065	0,094	13,095	1819,463	0,007	0,232	3,043
114	1041,362	0,025	0,039	0,965	0,473	734,451	0,289	0,065	0,093	13,017	1811,371	0,007	0,232	3,020
115	1042,670	0,025	0,039	0,965	0,475	737,230	0,289	0,065	0,093	12,939	1803,312	0,007	0,232	2,997
116	1043,965	0,025	0,039	0,966	0,477	739,984	0,288	0,066	0,092	12,862	1795,285	0,007	0,231	2,975
117	1045,250	0,025	0,039	0,966	0,478	742,713	0,288	0,066	0,091	12,786	1787,290	0,007	0,231	2,952
118	1046,524	0,025	0,039	0,966	0,480	745,418	0,287	0,067	0,091	12,710	1779,326	0,007	0,231	2,930
119	1047,787	0,025	0,039	0,966	0,481	748,099	0,287	0,067	0,090	12,635	1771,393	0,007	0,230	2,908
120	1049,040	0,025	0,039	0,967	0,483	750,756	0,286	0,067	0,090	12,561	1763,490	0,007	0,230	2,887

Resistência residual da viga considerando isotérmica 300 e propriedades EN 1992-1-2

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'(300)	x'(300)	ks (θ)	Fs	Fcx	x	z	Mrd,res 300 EN (KNm)
0	20,000	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	1,000	0,000	1,000	139,798	3200,000	0,044	0,244	34,044
1	349,214	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	0,927	0,001	1,000	139,798	3177,885	0,044	0,243	34,027
2	444,505	0,025	0,039	0,000	0,000	20,000	0,822	0,002	1,000	139,798	3158,095	0,044	0,243	34,012
3	502,289	0,025	0,039	0,140	0,000	20,000	0,737	0,003	1,000	139,798	3135,069	0,045	0,243	33,994
4	543,887	0,025	0,039	0,332	0,000	20,000	0,630	0,005	1,000	139,798	3099,045	0,045	0,243	33,965
5	576,410	0,025	0,039	0,451	0,000	20,000	0,545	0,007	1,000	139,798	3056,996	0,046	0,243	33,930
6	603,118	0,025	0,039	0,533	0,000	20,000	0,481	0,009	1,000	139,798	3013,133	0,046	0,242	33,893
7	625,777	0,025	0,039	0,592	0,000	20,000	0,434	0,011	1,000	139,798	2970,090	0,047	0,242	33,855
8	645,455	0,025	0,039	0,637	0,000	20,000	0,399	0,013	1,000	139,798	2928,949	0,048	0,242	33,818
9	662,846	0,025	0,039	0,673	0,016	20,000	0,372	0,015	1,000	139,798	2889,969	0,048	0,242	33,782
10	678,427	0,025	0,039	0,702	0,035	33,365	0,350	0,016	1,000	139,798	2853,078	0,049	0,241	33,747
11	692,540	0,025	0,039	0,726	0,053	51,969	0,333	0,018	1,000	139,798	2818,093	0,050	0,241	33,713
12	705,436	0,025	0,039	0,746	0,068	70,186	0,318	0,019	1,000	139,798	2784,810	0,050	0,241	33,680
13	717,310	0,025	0,039	0,763	0,083	87,900	0,306	0,021	1,000	139,798	2753,039	0,051	0,241	33,648
14	728,312	0,025	0,039	0,778	0,096	105,054	0,296	0,022	0,995	139,092	2722,611	0,051	0,241	33,461
15	738,561	0,025	0,039	0,791	0,108	121,631	0,287	0,024	0,978	136,774	2693,379	0,051	0,241	32,920
16	748,153	0,025	0,039	0,803	0,120	137,630	0,279	0,025	0,962	134,538	2665,219	0,050	0,241	32,398
17	757,169	0,025	0,039	0,813	0,131	153,064	0,272	0,026	0,947	132,380	2638,025	0,050	0,241	31,894
18	765,672	0,025	0,039	0,822	0,141	167,954	0,266	0,028	0,932	130,298	2611,704	0,050	0,241	31,408
19	773,719	0,025	0,039	0,831	0,151	182,322	0,260	0,029	0,918	128,290	2586,178	0,050	0,241	30,938
20	781,355	0,025	0,039	0,838	0,160	196,194	0,255	0,030	0,904	126,351	2561,380	0,049	0,241	30,484
21	788,621	0,025	0,039	0,845	0,169	209,593	0,251	0,031	0,890	124,477	2537,248	0,049	0,241	30,046
22	795,551	0,025	0,039	0,851	0,177	222,544	0,247	0,032	0,877	122,667	2513,733	0,049	0,241	29,622
23	802,174	0,025	0,039	0,857	0,185	235,072	0,243	0,033	0,865	120,915	2490,787	0,049	0,242	29,211
24	808,517	0,025	0,039	0,862	0,193	247,198	0,239	0,034	0,853	119,220	2468,371	0,048	0,242	28,813
25	814,603	0,025	0,039	0,867	0,200	258,944	0,236	0,035	0,841	117,578	2446,448	0,048	0,242	28,428
26	820,450	0,025	0,039	0,871	0,207	270,330	0,233	0,036	0,830	115,986	2424,987	0,048	0,242	28,053
27	826,079	0,025	0,039	0,876	0,214	281,376	0,230	0,037	0,819	114,442	2403,958	0,048	0,242	27,690
28	831,503	0,025	0,039	0,880	0,221	292,098	0,227	0,038	0,808	112,943	2383,336	0,047	0,242	27,337
29	836,738	0,025	0,039	0,883	0,227	302,513	0,225	0,039	0,797	111,487	2363,097	0,047	0,242	26,969
30	841,796	0,025	0,039	0,887	0,233	312,637	0,223	0,040	0,787	110,072	2343,220	0,047	0,241	26,533

31	846,689	0,025	0,039	0,890	0,239	322,485	0,220	0,041	0,778	108,695	2323,685	0,047	0,240	26,110
32	851,427	0,025	0,039	0,893	0,245	332,069	0,218	0,042	0,768	107,355	2304,474	0,047	0,239	25,700
33	856,020	0,025	0,039	0,896	0,250	341,402	0,216	0,043	0,759	106,051	2285,572	0,046	0,239	25,301
34	860,476	0,025	0,039	0,898	0,256	350,496	0,214	0,044	0,750	104,779	2266,964	0,046	0,238	24,914
35	864,804	0,025	0,039	0,901	0,261	359,363	0,213	0,045	0,741	103,540	2248,635	0,046	0,237	24,538
36	869,010	0,025	0,039	0,903	0,266	368,012	0,211	0,045	0,732	102,331	2230,573	0,046	0,236	24,171
37	873,101	0,025	0,039	0,906	0,271	376,453	0,209	0,046	0,724	101,151	2212,766	0,046	0,235	23,815
38	877,083	0,025	0,039	0,908	0,276	384,695	0,208	0,047	0,715	99,998	2195,203	0,046	0,235	23,468
39	880,963	0,025	0,039	0,910	0,280	392,747	0,206	0,048	0,707	98,873	2177,874	0,045	0,234	23,129
40	884,744	0,025	0,039	0,912	0,285	400,617	0,205	0,049	0,699	97,747	2160,770	0,045	0,233	22,794
41	888,433	0,025	0,039	0,914	0,289	408,312	0,204	0,050	0,689	96,348	2143,882	0,045	0,233	22,403
42	892,032	0,025	0,039	0,916	0,294	415,840	0,202	0,050	0,679	94,980	2127,201	0,045	0,232	22,021
43	895,548	0,025	0,039	0,917	0,298	423,207	0,201	0,051	0,670	93,641	2110,719	0,044	0,231	21,649
44	898,982	0,025	0,039	0,919	0,302	430,419	0,200	0,052	0,660	92,330	2094,430	0,044	0,231	21,286
45	902,340	0,025	0,039	0,921	0,306	437,483	0,199	0,053	0,651	91,047	2078,326	0,044	0,230	20,931
46	905,624	0,025	0,039	0,922	0,310	444,404	0,197	0,053	0,642	89,789	2062,402	0,044	0,229	20,585
47	908,838	0,025	0,039	0,924	0,314	451,187	0,196	0,054	0,633	88,556	2046,650	0,043	0,229	20,247
48	911,984	0,025	0,039	0,925	0,318	457,838	0,195	0,055	0,625	87,347	2031,065	0,043	0,228	19,916
49	915,065	0,025	0,039	0,926	0,321	464,361	0,194	0,056	0,616	86,162	2015,643	0,043	0,227	19,592
50	918,085	0,025	0,039	0,928	0,325	470,761	0,193	0,056	0,608	84,999	2000,377	0,042	0,227	19,275
51	921,045	0,025	0,039	0,929	0,329	477,041	0,192	0,057	0,600	83,857	1985,262	0,042	0,226	18,965
52	923,947	0,025	0,039	0,930	0,332	483,207	0,192	0,058	0,592	82,737	1970,295	0,042	0,226	18,662
53	926,794	0,025	0,039	0,931	0,336	489,262	0,191	0,058	0,584	81,636	1955,470	0,042	0,225	18,365
54	929,588	0,025	0,039	0,932	0,339	495,210	0,190	0,059	0,576	80,555	1940,785	0,042	0,224	18,074
55	932,331	0,025	0,039	0,933	0,342	501,054	0,189	0,060	0,568	79,339	1926,233	0,041	0,224	17,757
56	935,025	0,025	0,039	0,935	0,345	506,798	0,188	0,060	0,554	77,452	1911,813	0,041	0,223	17,304
57	937,671	0,025	0,039	0,936	0,349	512,444	0,187	0,061	0,541	75,597	1897,519	0,040	0,223	16,859
58	940,271	0,025	0,039	0,937	0,352	517,997	0,187	0,062	0,528	73,773	1883,350	0,039	0,223	16,423
59	942,827	0,025	0,039	0,937	0,355	523,458	0,186	0,062	0,515	71,979	1869,301	0,039	0,222	15,995
60	945,340	0,025	0,039	0,938	0,358	528,830	0,185	0,063	0,502	70,214	1855,369	0,038	0,222	15,576
61	947,812	0,025	0,039	0,939	0,361	534,117	0,184	0,064	0,490	68,477	1841,552	0,037	0,221	15,164
62	950,243	0,025	0,039	0,940	0,364	539,321	0,184	0,064	0,478	66,767	1827,846	0,037	0,221	14,760
63	952,636	0,025	0,039	0,941	0,367	544,443	0,183	0,065	0,466	65,084	1814,248	0,036	0,221	14,364

64	954,990	0,025	0,039	0,942	0,370	549,488	0,182	0,066	0,454	63,427	1800,757	0,035	0,220	13,974
65	957,309	0,025	0,039	0,943	0,372	554,455	0,182	0,066	0,442	61,795	1787,369	0,035	0,220	13,592
66	959,592	0,025	0,039	0,943	0,375	559,349	0,181	0,067	0,431	60,187	1774,083	0,034	0,220	13,217
67	961,841	0,025	0,039	0,944	0,378	564,171	0,181	0,067	0,419	58,603	1760,895	0,033	0,219	12,848
68	964,057	0,025	0,039	0,945	0,380	568,923	0,180	0,068	0,408	57,042	1747,803	0,033	0,219	12,485
69	966,240	0,025	0,039	0,946	0,383	573,606	0,179	0,069	0,397	55,504	1734,806	0,032	0,219	12,129
70	968,392	0,025	0,039	0,946	0,386	578,223	0,179	0,069	0,386	53,987	1721,901	0,031	0,218	11,778
71	970,514	0,025	0,039	0,947	0,388	582,775	0,178	0,070	0,375	52,491	1709,086	0,031	0,218	11,434
72	972,606	0,025	0,039	0,948	0,391	587,265	0,178	0,070	0,365	51,016	1696,359	0,030	0,217	11,095
73	974,669	0,025	0,039	0,948	0,393	591,693	0,177	0,071	0,355	49,562	1683,719	0,029	0,217	10,762
74	976,704	0,025	0,039	0,949	0,396	596,061	0,177	0,072	0,344	48,126	1671,163	0,029	0,217	10,435
75	978,712	0,025	0,039	0,949	0,398	600,371	0,176	0,072	0,334	46,711	1658,690	0,028	0,216	10,112
76	980,693	0,025	0,039	0,950	0,400	604,624	0,176	0,073	0,324	45,313	1646,298	0,028	0,216	9,795
77	982,648	0,025	0,039	0,951	0,403	608,822	0,175	0,073	0,314	43,934	1633,986	0,027	0,216	9,483
78	984,579	0,025	0,039	0,951	0,405	612,965	0,175	0,074	0,305	42,573	1621,752	0,026	0,216	9,175
79	986,484	0,025	0,039	0,952	0,407	617,056	0,174	0,075	0,295	41,229	1609,594	0,026	0,215	8,873
80	988,366	0,025	0,039	0,952	0,410	621,095	0,174	0,075	0,285	39,902	1597,511	0,025	0,215	8,575
81	990,224	0,025	0,039	0,953	0,412	625,083	0,173	0,076	0,276	38,592	1585,502	0,024	0,215	8,281
82	992,060	0,025	0,039	0,953	0,414	629,023	0,173	0,076	0,267	37,298	1573,564	0,024	0,214	7,992
83	993,873	0,025	0,039	0,954	0,416	632,914	0,172	0,077	0,258	36,019	1561,698	0,023	0,214	7,707
84	995,665	0,025	0,039	0,954	0,418	636,759	0,172	0,077	0,249	34,756	1549,901	0,022	0,214	7,427
85	997,436	0,025	0,039	0,955	0,421	640,557	0,172	0,078	0,240	33,508	1538,173	0,022	0,213	7,150
86	999,186	0,025	0,039	0,955	0,423	644,310	0,171	0,078	0,231	32,275	1526,511	0,021	0,213	6,878
87	1000,915	0,025	0,039	0,956	0,425	648,020	0,171	0,079	0,222	31,057	1514,915	0,021	0,213	6,609
88	1002,625	0,025	0,039	0,956	0,427	651,686	0,170	0,080	0,214	29,852	1503,385	0,020	0,213	6,344
89	1004,316	0,025	0,039	0,956	0,429	655,311	0,170	0,080	0,205	28,661	1491,917	0,019	0,212	6,083
90	1005,988	0,025	0,039	0,957	0,431	658,894	0,170	0,081	0,197	27,484	1480,512	0,019	0,212	5,826
91	1007,641	0,025	0,039	0,957	0,433	662,437	0,169	0,081	0,188	26,320	1469,169	0,018	0,212	5,572
92	1009,276	0,025	0,039	0,958	0,435	665,941	0,169	0,082	0,180	25,169	1457,886	0,017	0,211	5,322
93	1010,894	0,025	0,039	0,958	0,437	669,405	0,168	0,082	0,172	24,031	1446,663	0,017	0,211	5,075
94	1012,494	0,025	0,039	0,959	0,439	672,832	0,168	0,083	0,164	22,905	1435,498	0,016	0,211	4,831
95	1014,078	0,025	0,039	0,959	0,441	676,222	0,168	0,083	0,156	21,791	1424,391	0,015	0,211	4,590
96	1015,645	0,025	0,039	0,959	0,443	679,576	0,167	0,084	0,148	20,690	1413,340	0,015	0,210	4,353

97	1017,195	0,025	0,039	0,960	0,444	682,893	0,167	0,084	0,140	19,600	1402,345	0,014	0,210	4,119
98	1018,730	0,025	0,039	0,960	0,446	686,176	0,167	0,085	0,132	18,521	1391,406	0,013	0,210	3,888
99	1020,249	0,025	0,039	0,960	0,448	689,425	0,166	0,085	0,125	17,454	1380,520	0,013	0,210	3,659
100	1021,753	0,025	0,039	0,961	0,450	692,640	0,166	0,086	0,117	16,398	1369,687	0,012	0,209	3,434
101	1023,242	0,025	0,039	0,961	0,452	695,822	0,166	0,086	0,110	15,352	1358,907	0,011	0,209	3,211
102	1024,717	0,025	0,039	0,961	0,453	698,972	0,165	0,087	0,102	14,318	1348,178	0,011	0,209	2,992
103	1026,177	0,025	0,039	0,962	0,455	702,090	0,165	0,087	0,100	13,921	1337,500	0,010	0,209	2,903
104	1027,623	0,025	0,039	0,962	0,457	705,176	0,165	0,088	0,099	13,835	1326,873	0,010	0,208	2,878
105	1029,055	0,025	0,039	0,962	0,459	708,233	0,164	0,088	0,098	13,750	1316,294	0,010	0,208	2,853
106	1030,473	0,025	0,039	0,963	0,460	711,259	0,164	0,089	0,098	13,665	1305,765	0,010	0,207	2,829
107	1031,878	0,025	0,039	0,963	0,462	714,256	0,164	0,089	0,097	13,581	1295,283	0,010	0,207	2,805
108	1033,271	0,025	0,039	0,963	0,464	717,224	0,164	0,090	0,097	13,498	1284,849	0,011	0,206	2,781
109	1034,650	0,025	0,039	0,964	0,465	720,163	0,163	0,090	0,096	13,416	1274,462	0,011	0,206	2,757
110	1036,017	0,025	0,039	0,964	0,467	723,075	0,163	0,091	0,095	13,335	1264,120	0,011	0,205	2,734
111	1037,371	0,025	0,039	0,964	0,469	725,959	0,163	0,091	0,095	13,254	1253,824	0,011	0,205	2,711
112	1038,713	0,025	0,039	0,964	0,470	728,816	0,162	0,092	0,094	13,174	1243,573	0,011	0,204	2,688
113	1040,044	0,025	0,039	0,965	0,472	731,647	0,162	0,092	0,094	13,095	1233,366	0,011	0,204	2,666
114	1041,362	0,025	0,039	0,965	0,473	734,451	0,162	0,093	0,093	13,017	1223,203	0,011	0,203	2,643
115	1042,670	0,025	0,039	0,965	0,475	737,230	0,162	0,093	0,093	12,939	1213,082	0,011	0,203	2,621
116	1043,965	0,025	0,039	0,966	0,477	739,984	0,161	0,094	0,092	12,862	1203,004	0,011	0,202	2,600
117	1045,250	0,025	0,039	0,966	0,478	742,713	0,161	0,094	0,091	12,786	1192,968	0,011	0,202	2,578
118	1046,524	0,025	0,039	0,966	0,480	745,418	0,161	0,095	0,091	12,710	1182,974	0,011	0,201	2,557
119	1047,787	0,025	0,039	0,966	0,481	748,099	0,161	0,095	0,090	12,635	1173,020	0,011	0,201	2,536
120	1049,040	0,025	0,039	0,967	0,483	750,756	0,160	0,095	0,090	12,561	1163,106	0,011	0,200	2,515

Resistência residual da laje considerando isotérmica 500 e propriedades residuais

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'(500)	x'(500)	ks (θ)	Fs	Fcx	x	z	Mrd,res 500 Res (KNm)
0	20,000	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,000	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
1	349,214	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,014	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
2	444,505	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,019	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
3	502,289	0,025	0,037	0,140	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
4	543,887	0,025	0,037	0,332	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
5	576,410	0,025	0,037	0,451	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
6	603,118	0,025	0,037	0,533	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
7	625,777	0,025	0,037	0,592	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
8	645,455	0,025	0,037	0,637	0,014	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
9	662,846	0,025	0,037	0,673	0,035	20,000	1,000	0,003	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
10	678,427	0,025	0,037	0,702	0,054	25,879	1,000	0,003	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
11	692,540	0,025	0,037	0,726	0,072	35,944	0,995	0,003	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
12	705,436	0,025	0,037	0,746	0,087	45,876	0,950	0,003	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
13	717,310	0,025	0,037	0,763	0,102	55,617	0,913	0,004	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
14	728,312	0,025	0,037	0,778	0,115	65,136	0,882	0,004	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
15	738,561	0,025	0,037	0,791	0,127	74,420	0,855	0,005	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
16	748,153	0,025	0,037	0,803	0,139	83,461	0,832	0,005	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
17	757,169	0,025	0,037	0,813	0,150	92,263	0,812	0,006	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
18	765,672	0,025	0,037	0,822	0,160	100,829	0,794	0,006	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
19	773,719	0,025	0,037	0,831	0,170	109,165	0,778	0,007	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
20	781,355	0,025	0,037	0,838	0,179	117,281	0,764	0,007	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
21	788,621	0,025	0,037	0,845	0,188	125,185	0,750	0,008	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
22	795,551	0,025	0,037	0,851	0,196	132,884	0,738	0,008	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
23	802,174	0,025	0,037	0,857	0,204	140,389	0,728	0,009	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
24	808,517	0,025	0,037	0,862	0,212	147,708	0,717	0,009	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
25	814,603	0,025	0,037	0,867	0,219	154,850	0,708	0,010	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
26	820,450	0,025	0,037	0,871	0,226	161,821	0,699	0,010	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
27	826,079	0,025	0,037	0,876	0,233	168,630	0,691	0,010	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
28	831,503	0,025	0,037	0,880	0,240	175,284	0,684	0,011	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
29	836,738	0,025	0,037	0,883	0,246	181,790	0,677	0,011	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
30	841,796	0,025	0,037	0,887	0,252	188,155	0,670	0,012	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319

31	846,689	0,025	0,037	0,890	0,258	194,383	0,664	0,012	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
32	851,427	0,025	0,037	0,893	0,264	200,482	0,658	0,012	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
33	856,020	0,025	0,037	0,896	0,269	206,457	0,652	0,013	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
34	860,476	0,025	0,037	0,898	0,275	212,312	0,647	0,013	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
35	864,804	0,025	0,037	0,901	0,280	218,053	0,642	0,014	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
36	869,010	0,025	0,037	0,903	0,285	223,684	0,637	0,014	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
37	873,101	0,025	0,037	0,906	0,290	229,209	0,632	0,014	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
38	877,083	0,025	0,037	0,908	0,295	234,633	0,628	0,015	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
39	880,963	0,025	0,037	0,910	0,299	239,960	0,624	0,015	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
40	884,744	0,025	0,037	0,912	0,304	245,192	0,620	0,015	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
41	888,433	0,025	0,037	0,914	0,308	250,333	0,616	0,016	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
42	892,032	0,025	0,037	0,916	0,313	255,388	0,612	0,016	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
43	895,548	0,025	0,037	0,917	0,317	260,358	0,609	0,016	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
44	898,982	0,025	0,037	0,919	0,321	265,246	0,605	0,017	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
45	902,340	0,025	0,037	0,921	0,325	270,057	0,602	0,017	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
46	905,624	0,025	0,037	0,922	0,329	274,791	0,599	0,017	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
47	908,838	0,025	0,037	0,924	0,333	279,452	0,596	0,018	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
48	911,984	0,025	0,037	0,925	0,337	284,042	0,593	0,018	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
49	915,065	0,025	0,037	0,926	0,340	288,563	0,590	0,019	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
50	918,085	0,025	0,037	0,928	0,344	293,018	0,587	0,019	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
51	921,045	0,025	0,037	0,929	0,348	297,408	0,584	0,019	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
52	923,947	0,025	0,037	0,930	0,351	301,736	0,582	0,019	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
53	926,794	0,025	0,037	0,931	0,355	306,003	0,579	0,020	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
54	929,588	0,025	0,037	0,932	0,358	310,211	0,577	0,020	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
55	932,331	0,025	0,037	0,933	0,361	314,362	0,574	0,020	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
56	935,025	0,025	0,037	0,935	0,364	318,458	0,572	0,021	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
57	937,671	0,025	0,037	0,936	0,368	322,500	0,570	0,021	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
58	940,271	0,025	0,037	0,937	0,371	326,489	0,568	0,021	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
59	942,827	0,025	0,037	0,937	0,374	330,428	0,566	0,022	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
60	945,340	0,025	0,037	0,938	0,377	334,316	0,564	0,022	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
61	947,812	0,025	0,037	0,939	0,380	338,157	0,562	0,022	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
62	950,243	0,025	0,037	0,940	0,383	341,951	0,560	0,023	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
63	952,636	0,025	0,037	0,941	0,386	345,698	0,558	0,023	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319

64	954,990	0,025	0,037	0,942	0,388	349,402	0,556	0,023	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
65	957,309	0,025	0,037	0,943	0,391	353,062	0,554	0,024	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
66	959,592	0,025	0,037	0,943	0,394	356,679	0,552	0,024	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
67	961,841	0,025	0,037	0,944	0,397	360,255	0,551	0,024	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
68	964,057	0,025	0,037	0,945	0,399	363,791	0,549	0,024	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
69	966,240	0,025	0,037	0,946	0,402	367,287	0,547	0,025	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
70	968,392	0,025	0,037	0,946	0,405	370,745	0,546	0,025	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
71	970,514	0,025	0,037	0,947	0,407	374,166	0,544	0,025	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
72	972,606	0,025	0,037	0,948	0,410	377,550	0,543	0,026	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
73	974,669	0,025	0,037	0,948	0,412	380,898	0,541	0,026	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
74	976,704	0,025	0,037	0,949	0,415	384,211	0,540	0,026	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
75	978,712	0,025	0,037	0,949	0,417	387,490	0,538	0,026	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
76	980,693	0,025	0,037	0,950	0,419	390,735	0,537	0,027	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
77	982,648	0,025	0,037	0,951	0,422	393,948	0,535	0,027	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
78	984,579	0,025	0,037	0,951	0,424	397,129	0,534	0,027	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
79	986,484	0,025	0,037	0,952	0,426	400,278	0,533	0,028	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
80	988,366	0,025	0,037	0,952	0,429	403,397	0,531	0,028	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
81	990,224	0,025	0,037	0,953	0,431	406,486	0,530	0,028	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
82	992,060	0,025	0,037	0,953	0,433	409,545	0,529	0,028	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
83	993,873	0,025	0,037	0,954	0,435	412,575	0,528	0,029	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
84	995,665	0,025	0,037	0,954	0,437	415,577	0,526	0,029	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
85	997,436	0,025	0,037	0,955	0,440	418,552	0,525	0,029	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
86	999,186	0,025	0,037	0,955	0,442	421,499	0,524	0,029	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
87	1000,915	0,025	0,037	0,956	0,444	424,420	0,523	0,030	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
88	1002,625	0,025	0,037	0,956	0,446	427,315	0,522	0,030	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
89	1004,316	0,025	0,037	0,956	0,448	430,184	0,521	0,030	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
90	1005,988	0,025	0,037	0,957	0,450	433,028	0,519	0,030	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
91	1007,641	0,025	0,037	0,957	0,452	435,847	0,518	0,031	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
92	1009,276	0,025	0,037	0,958	0,454	438,642	0,517	0,031	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
93	1010,894	0,025	0,037	0,958	0,456	441,414	0,516	0,031	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
94	1012,494	0,025	0,037	0,959	0,458	444,162	0,515	0,032	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
95	1014,078	0,025	0,037	0,959	0,460	446,887	0,514	0,032	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
96	1015,645	0,025	0,037	0,959	0,461	449,590	0,513	0,032	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319

97	1017,195	0,025	0,037	0,960	0,463	452,271	0,512	0,032	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
98	1018,730	0,025	0,037	0,960	0,465	454,930	0,511	0,033	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
99	1020,249	0,025	0,037	0,960	0,467	457,568	0,510	0,033	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
100	1021,753	0,025	0,037	0,961	0,469	460,185	0,509	0,033	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
101	1023,242	0,025	0,037	0,961	0,471	462,781	0,508	0,033	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
102	1024,717	0,025	0,037	0,961	0,472	465,357	0,508	0,034	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
103	1026,177	0,025	0,037	0,962	0,474	467,913	0,507	0,034	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
104	1027,623	0,025	0,037	0,962	0,476	470,450	0,506	0,034	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
105	1029,055	0,025	0,037	0,962	0,478	472,967	0,505	0,034	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
106	1030,473	0,025	0,037	0,963	0,479	475,466	0,504	0,035	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
107	1031,878	0,025	0,037	0,963	0,481	477,945	0,503	0,035	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
108	1033,271	0,025	0,037	0,963	0,483	480,407	0,502	0,035	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
109	1034,650	0,025	0,037	0,964	0,484	482,850	0,502	0,035	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
110	1036,017	0,025	0,037	0,964	0,486	485,276	0,501	0,036	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
111	1037,371	0,025	0,037	0,964	0,488	487,684	0,500	0,036	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
112	1038,713	0,025	0,037	0,964	0,489	490,075	0,499	0,036	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
113	1040,044	0,025	0,037	0,965	0,491	492,449	0,498	0,036	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
114	1041,362	0,025	0,037	0,965	0,492	494,806	0,498	0,036	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
115	1042,670	0,025	0,037	0,965	0,494	497,147	0,497	0,037	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
116	1043,965	0,025	0,037	0,966	0,496	499,472	0,496	0,037	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
117	1045,250	0,025	0,037	0,966	0,497	501,781	0,495	0,037	0,998	392,737	10666,667	0,037	0,148	58,161
118	1046,524	0,025	0,037	0,966	0,499	504,074	0,495	0,037	0,996	391,895	10666,667	0,037	0,148	57,956
119	1047,787	0,025	0,037	0,966	0,500	506,352	0,494	0,038	0,994	391,059	10666,667	0,037	0,148	57,754
120	1049,040	0,025	0,037	0,967	0,502	508,614	0,493	0,038	0,992	390,229	10666,667	0,037	0,147	57,552

Resistência residual da laje considerando isotérmica 300 e propriedades residuais

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'(300)	x'(300)	ks (θ)	Fs	Fcx	x	z	Mrd,res 300 Res (KNm)
0	20,000	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,000	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
1	349,214	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,014	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
2	444,505	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,019	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
3	502,289	0,025	0,037	0,140	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
4	543,887	0,025	0,037	0,332	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
5	576,410	0,025	0,037	0,451	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
6	603,118	0,025	0,037	0,533	0,000	20,000	0,934	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
7	625,777	0,025	0,037	0,592	0,000	20,000	0,810	0,004	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
8	645,455	0,025	0,037	0,637	0,014	20,000	0,729	0,005	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
9	662,846	0,025	0,037	0,673	0,035	20,000	0,673	0,006	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
10	678,427	0,025	0,037	0,702	0,054	25,879	0,630	0,007	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
11	692,540	0,025	0,037	0,726	0,072	35,944	0,597	0,009	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
12	705,436	0,025	0,037	0,746	0,087	45,876	0,570	0,010	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
13	717,310	0,025	0,037	0,763	0,102	55,617	0,548	0,011	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
14	728,312	0,025	0,037	0,778	0,115	65,136	0,529	0,012	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
15	738,561	0,025	0,037	0,791	0,127	74,420	0,513	0,013	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
16	748,153	0,025	0,037	0,803	0,139	83,461	0,499	0,014	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
17	757,169	0,025	0,037	0,813	0,150	92,263	0,487	0,014	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
18	765,672	0,025	0,037	0,822	0,160	100,829	0,476	0,015	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
19	773,719	0,025	0,037	0,831	0,170	109,165	0,467	0,016	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
20	781,355	0,025	0,037	0,838	0,179	117,281	0,458	0,017	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
21	788,621	0,025	0,037	0,845	0,188	125,185	0,450	0,018	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
22	795,551	0,025	0,037	0,851	0,196	132,884	0,443	0,019	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
23	802,174	0,025	0,037	0,857	0,204	140,389	0,437	0,019	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
24	808,517	0,025	0,037	0,862	0,212	147,708	0,430	0,020	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
25	814,603	0,025	0,037	0,867	0,219	154,850	0,425	0,021	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
26	820,450	0,025	0,037	0,871	0,226	161,821	0,420	0,022	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
27	826,079	0,025	0,037	0,876	0,233	168,630	0,415	0,022	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
28	831,503	0,025	0,037	0,880	0,240	175,284	0,410	0,023	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
29	836,738	0,025	0,037	0,883	0,246	181,790	0,406	0,024	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
30	841,796	0,025	0,037	0,887	0,252	188,155	0,402	0,024	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319

31	846,689	0,025	0,037	0,890	0,258	194,383	0,398	0,025	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
32	851,427	0,025	0,037	0,893	0,264	200,482	0,395	0,026	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
33	856,020	0,025	0,037	0,896	0,269	206,457	0,391	0,026	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
34	860,476	0,025	0,037	0,898	0,275	212,312	0,388	0,027	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
35	864,804	0,025	0,037	0,901	0,280	218,053	0,385	0,028	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
36	869,010	0,025	0,037	0,903	0,285	223,684	0,382	0,028	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
37	873,101	0,025	0,037	0,906	0,290	229,209	0,379	0,029	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
38	877,083	0,025	0,037	0,908	0,295	234,633	0,377	0,029	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
39	880,963	0,025	0,037	0,910	0,299	239,960	0,374	0,030	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
40	884,744	0,025	0,037	0,912	0,304	245,192	0,372	0,031	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
41	888,433	0,025	0,037	0,914	0,308	250,333	0,369	0,031	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
42	892,032	0,025	0,037	0,916	0,313	255,388	0,367	0,032	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
43	895,548	0,025	0,037	0,917	0,317	260,358	0,365	0,032	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
44	898,982	0,025	0,037	0,919	0,321	265,246	0,363	0,033	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
45	902,340	0,025	0,037	0,921	0,325	270,057	0,361	0,033	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
46	905,624	0,025	0,037	0,922	0,329	274,791	0,359	0,034	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
47	908,838	0,025	0,037	0,924	0,333	279,452	0,357	0,035	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
48	911,984	0,025	0,037	0,925	0,337	284,042	0,356	0,035	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
49	915,065	0,025	0,037	0,926	0,340	288,563	0,354	0,036	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
50	918,085	0,025	0,037	0,928	0,344	293,018	0,352	0,036	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
51	921,045	0,025	0,037	0,929	0,348	297,408	0,351	0,037	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
52	923,947	0,025	0,037	0,930	0,351	301,736	0,349	0,037	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,238
53	926,794	0,025	0,037	0,931	0,355	306,003	0,348	0,038	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,035
54	929,588	0,025	0,037	0,932	0,358	310,211	0,346	0,038	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,147	57,835
55	932,331	0,025	0,037	0,933	0,361	314,362	0,345	0,039	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,147	57,637
56	935,025	0,025	0,037	0,935	0,364	318,458	0,343	0,039	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,146	57,440
57	937,671	0,025	0,037	0,936	0,368	322,500	0,342	0,040	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,146	57,245
58	940,271	0,025	0,037	0,937	0,371	326,489	0,341	0,040	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,145	57,051
59	942,827	0,025	0,037	0,937	0,374	330,428	0,339	0,041	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,145	56,859
60	945,340	0,025	0,037	0,938	0,377	334,316	0,338	0,041	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,144	56,668
61	947,812	0,025	0,037	0,939	0,380	338,157	0,337	0,042	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,144	56,479
62	950,243	0,025	0,037	0,940	0,383	341,951	0,336	0,042	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,143	56,291
63	952,636	0,025	0,037	0,941	0,386	345,698	0,335	0,043	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,143	56,105

64	954,990	0,025	0,037	0,942	0,388	349,402	0,334	0,043	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,142	55,920
65	957,309	0,025	0,037	0,943	0,391	353,062	0,332	0,044	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,142	55,737
66	959,592	0,025	0,037	0,943	0,394	356,679	0,331	0,044	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,141	55,554
67	961,841	0,025	0,037	0,944	0,397	360,255	0,330	0,044	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,141	55,373
68	964,057	0,025	0,037	0,945	0,399	363,791	0,329	0,045	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,140	55,194
69	966,240	0,025	0,037	0,946	0,402	367,287	0,328	0,045	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,140	55,015
70	968,392	0,025	0,037	0,946	0,405	370,745	0,327	0,046	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,139	54,838
71	970,514	0,025	0,037	0,947	0,407	374,166	0,326	0,046	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,139	54,662
72	972,606	0,025	0,037	0,948	0,410	377,550	0,326	0,047	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,139	54,487
73	974,669	0,025	0,037	0,948	0,412	380,898	0,325	0,047	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,138	54,313
74	976,704	0,025	0,037	0,949	0,415	384,211	0,324	0,048	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,138	54,140
75	978,712	0,025	0,037	0,949	0,417	387,490	0,323	0,048	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,137	53,968
76	980,693	0,025	0,037	0,950	0,419	390,735	0,322	0,048	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,137	53,797
77	982,648	0,025	0,037	0,951	0,422	393,948	0,321	0,049	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,136	53,628
78	984,579	0,025	0,037	0,951	0,424	397,129	0,320	0,049	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,136	53,459
79	986,484	0,025	0,037	0,952	0,426	400,278	0,320	0,050	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,135	53,291
80	988,366	0,025	0,037	0,952	0,429	403,397	0,319	0,050	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,135	53,125
81	990,224	0,025	0,037	0,953	0,431	406,486	0,318	0,051	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,135	52,959
82	992,060	0,025	0,037	0,953	0,433	409,545	0,317	0,051	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,134	52,794
83	993,873	0,025	0,037	0,954	0,435	412,575	0,317	0,051	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,134	52,630
84	995,665	0,025	0,037	0,954	0,437	415,577	0,316	0,052	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,133	52,468
85	997,436	0,025	0,037	0,955	0,440	418,552	0,315	0,052	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,133	52,305
86	999,186	0,025	0,037	0,955	0,442	421,499	0,314	0,053	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,133	52,144
87	1000,915	0,025	0,037	0,956	0,444	424,420	0,314	0,053	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,132	51,984
88	1002,625	0,025	0,037	0,956	0,446	427,315	0,313	0,054	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,132	51,825
89	1004,316	0,025	0,037	0,956	0,448	430,184	0,312	0,054	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,131	51,666
90	1005,988	0,025	0,037	0,957	0,450	433,028	0,312	0,054	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,131	51,508
91	1007,641	0,025	0,037	0,957	0,452	435,847	0,311	0,055	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,131	51,351
92	1009,276	0,025	0,037	0,958	0,454	438,642	0,310	0,055	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,130	51,195
93	1010,894	0,025	0,037	0,958	0,456	441,414	0,310	0,056	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,130	51,039
94	1012,494	0,025	0,037	0,959	0,458	444,162	0,309	0,056	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,129	50,885
95	1014,078	0,025	0,037	0,959	0,460	446,887	0,309	0,056	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,129	50,731
96	1015,645	0,025	0,037	0,959	0,461	449,590	0,308	0,057	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,129	50,578

97	1017,195	0,025	0,037	0,960	0,463	452,271	0,307	0,057	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,128	50,425
98	1018,730	0,025	0,037	0,960	0,465	454,930	0,307	0,057	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,128	50,273
99	1020,249	0,025	0,037	0,960	0,467	457,568	0,306	0,058	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,127	50,122
100	1021,753	0,025	0,037	0,961	0,469	460,185	0,306	0,058	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,127	49,972
101	1023,242	0,025	0,037	0,961	0,471	462,781	0,305	0,059	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,127	49,822
102	1024,717	0,025	0,037	0,961	0,472	465,357	0,305	0,059	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,126	49,673
103	1026,177	0,025	0,037	0,962	0,474	467,913	0,304	0,059	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,126	49,525
104	1027,623	0,025	0,037	0,962	0,476	470,450	0,303	0,060	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,126	49,377
105	1029,055	0,025	0,037	0,962	0,478	472,967	0,303	0,060	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,125	49,230
106	1030,473	0,025	0,037	0,963	0,479	475,466	0,302	0,060	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,125	49,084
107	1031,878	0,025	0,037	0,963	0,481	477,945	0,302	0,061	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,124	48,938
108	1033,271	0,025	0,037	0,963	0,483	480,407	0,301	0,061	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,124	48,793
109	1034,650	0,025	0,037	0,964	0,484	482,850	0,301	0,062	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,124	48,649
110	1036,017	0,025	0,037	0,964	0,486	485,276	0,300	0,062	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,123	48,505
111	1037,371	0,025	0,037	0,964	0,488	487,684	0,300	0,062	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,123	48,362
112	1038,713	0,025	0,037	0,964	0,489	490,075	0,299	0,063	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,123	48,219
113	1040,044	0,025	0,037	0,965	0,491	492,449	0,299	0,063	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,122	48,077
114	1041,362	0,025	0,037	0,965	0,492	494,806	0,299	0,063	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,122	47,935
115	1042,670	0,025	0,037	0,965	0,494	497,147	0,298	0,064	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,121	47,794
116	1043,965	0,025	0,037	0,966	0,496	499,472	0,298	0,064	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,121	47,654
117	1045,250	0,025	0,037	0,966	0,497	501,781	0,297	0,064	0,998	392,737	10666,667	0,037	0,121	47,445
118	1046,524	0,025	0,037	0,966	0,499	504,074	0,297	0,065	0,996	391,895	10666,667	0,037	0,120	47,217
119	1047,787	0,025	0,037	0,966	0,500	506,352	0,296	0,065	0,994	391,059	10666,667	0,037	0,120	46,990
120	1049,040	0,025	0,037	0,967	0,502	508,614	0,296	0,066	0,992	390,229	10666,667	0,037	0,120	46,765

Resistência residual da laje considerando isotérmica 500 e propriedades EN 1992-1-2

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'(500)	x'(500)	ks (θ)	Fs	Fcx	x	z	Mrd,res 500 EN (KNm)
0	20,000	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,000	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
1	349,214	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,014	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
2	444,505	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,019	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
3	502,289	0,025	0,037	0,140	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
4	543,887	0,025	0,037	0,332	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
5	576,410	0,025	0,037	0,451	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
6	603,118	0,025	0,037	0,533	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
7	625,777	0,025	0,037	0,592	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
8	645,455	0,025	0,037	0,637	0,014	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
9	662,846	0,025	0,037	0,673	0,035	20,000	1,000	0,003	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
10	678,427	0,025	0,037	0,702	0,054	25,879	1,000	0,003	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
11	692,540	0,025	0,037	0,726	0,072	35,944	0,995	0,003	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
12	705,436	0,025	0,037	0,746	0,087	45,876	0,950	0,003	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
13	717,310	0,025	0,037	0,763	0,102	55,617	0,913	0,004	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
14	728,312	0,025	0,037	0,778	0,115	65,136	0,882	0,004	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
15	738,561	0,025	0,037	0,791	0,127	74,420	0,855	0,005	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
16	748,153	0,025	0,037	0,803	0,139	83,461	0,832	0,005	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
17	757,169	0,025	0,037	0,813	0,150	92,263	0,812	0,006	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
18	765,672	0,025	0,037	0,822	0,160	100,829	0,794	0,006	0,999	393,065	10666,667	0,037	0,148	58,276
19	773,719	0,025	0,037	0,831	0,170	109,165	0,778	0,007	0,991	389,786	10666,667	0,037	0,148	57,838
20	781,355	0,025	0,037	0,838	0,179	117,281	0,764	0,007	0,983	386,593	10666,667	0,036	0,149	57,410
21	788,621	0,025	0,037	0,845	0,188	125,185	0,750	0,008	0,975	383,484	10666,667	0,036	0,149	56,993
22	795,551	0,025	0,037	0,851	0,196	132,884	0,738	0,008	0,967	380,455	10666,667	0,036	0,149	56,586
23	802,174	0,025	0,037	0,857	0,204	140,389	0,728	0,009	0,960	377,502	10666,667	0,035	0,149	56,189
24	808,517	0,025	0,037	0,862	0,212	147,708	0,717	0,009	0,952	374,623	10666,667	0,035	0,149	55,801
25	814,603	0,025	0,037	0,867	0,219	154,850	0,708	0,010	0,945	371,814	10666,667	0,035	0,149	55,421
26	820,450	0,025	0,037	0,871	0,226	161,821	0,699	0,010	0,938	369,072	10666,667	0,035	0,149	55,051
27	826,079	0,025	0,037	0,876	0,233	168,630	0,691	0,010	0,931	366,393	10666,667	0,034	0,149	54,688
28	831,503	0,025	0,037	0,880	0,240	175,284	0,684	0,011	0,925	363,775	10666,667	0,034	0,149	54,333
29	836,738	0,025	0,037	0,883	0,246	181,790	0,677	0,011	0,918	361,216	10666,667	0,034	0,149	53,985
30	841,796	0,025	0,037	0,887	0,252	188,155	0,670	0,012	0,912	358,712	10666,667	0,034	0,150	53,645

31	846,689	0,025	0,037	0,890	0,258	194,383	0,664	0,012	0,906	356,262	10666,667	0,033	0,150	53,311
32	851,427	0,025	0,037	0,893	0,264	200,482	0,658	0,012	0,900	353,862	10666,667	0,033	0,150	52,984
33	856,020	0,025	0,037	0,896	0,269	206,457	0,652	0,013	0,894	351,512	10666,667	0,033	0,150	52,663
34	860,476	0,025	0,037	0,898	0,275	212,312	0,647	0,013	0,888	349,209	10666,667	0,033	0,150	52,348
35	864,804	0,025	0,037	0,901	0,280	218,053	0,642	0,014	0,882	346,950	10666,667	0,033	0,150	52,039
36	869,010	0,025	0,037	0,903	0,285	223,684	0,637	0,014	0,876	344,735	10666,667	0,032	0,150	51,735
37	873,101	0,025	0,037	0,906	0,290	229,209	0,632	0,014	0,871	342,561	10666,667	0,032	0,150	51,437
38	877,083	0,025	0,037	0,908	0,295	234,633	0,628	0,015	0,865	340,428	10666,667	0,032	0,150	51,144
39	880,963	0,025	0,037	0,910	0,299	239,960	0,624	0,015	0,860	338,332	10666,667	0,032	0,150	50,856
40	884,744	0,025	0,037	0,912	0,304	245,192	0,620	0,015	0,855	336,274	10666,667	0,032	0,150	50,572
41	888,433	0,025	0,037	0,914	0,308	250,333	0,616	0,016	0,850	334,251	10666,667	0,031	0,150	50,293
42	892,032	0,025	0,037	0,916	0,313	255,388	0,612	0,016	0,845	332,263	10666,667	0,031	0,151	50,019
43	895,548	0,025	0,037	0,917	0,317	260,358	0,609	0,016	0,840	330,308	10666,667	0,031	0,151	49,749
44	898,982	0,025	0,037	0,919	0,321	265,246	0,605	0,017	0,835	328,385	10666,667	0,031	0,151	49,483
45	902,340	0,025	0,037	0,921	0,325	270,057	0,602	0,017	0,830	326,492	10666,667	0,031	0,151	49,221
46	905,624	0,025	0,037	0,922	0,329	274,791	0,599	0,017	0,825	324,630	10666,667	0,030	0,151	48,963
47	908,838	0,025	0,037	0,924	0,333	279,452	0,596	0,018	0,821	322,796	10666,667	0,030	0,151	48,708
48	911,984	0,025	0,037	0,925	0,337	284,042	0,593	0,018	0,816	320,991	10666,667	0,030	0,151	48,458
49	915,065	0,025	0,037	0,926	0,340	288,563	0,590	0,019	0,811	319,212	10666,667	0,030	0,151	48,210
50	918,085	0,025	0,037	0,928	0,344	293,018	0,587	0,019	0,807	317,460	10666,667	0,030	0,151	47,967
51	921,045	0,025	0,037	0,929	0,348	297,408	0,584	0,019	0,803	315,733	10666,667	0,030	0,151	47,726
52	923,947	0,025	0,037	0,930	0,351	301,736	0,582	0,019	0,798	314,030	10666,667	0,029	0,151	47,489
53	926,794	0,025	0,037	0,931	0,355	306,003	0,579	0,020	0,794	312,351	10666,667	0,029	0,151	47,255
54	929,588	0,025	0,037	0,932	0,358	310,211	0,577	0,020	0,790	310,696	10666,667	0,029	0,151	47,023
55	932,331	0,025	0,037	0,933	0,361	314,362	0,574	0,020	0,786	309,063	10666,667	0,029	0,151	46,795
56	935,025	0,025	0,037	0,935	0,364	318,458	0,572	0,021	0,782	307,452	10666,667	0,029	0,151	46,570
57	937,671	0,025	0,037	0,936	0,368	322,500	0,570	0,021	0,778	305,862	10666,667	0,029	0,152	46,347
58	940,271	0,025	0,037	0,937	0,371	326,489	0,568	0,021	0,774	304,292	10666,667	0,029	0,152	46,127
59	942,827	0,025	0,037	0,937	0,374	330,428	0,566	0,022	0,770	302,743	10666,667	0,028	0,152	45,910
60	945,340	0,025	0,037	0,938	0,377	334,316	0,564	0,022	0,766	301,213	10666,667	0,028	0,152	45,695
61	947,812	0,025	0,037	0,939	0,380	338,157	0,562	0,022	0,762	299,702	10666,667	0,028	0,152	45,483
62	950,243	0,025	0,037	0,940	0,383	341,951	0,560	0,023	0,758	298,210	10666,667	0,028	0,152	45,273
63	952,636	0,025	0,037	0,941	0,386	345,698	0,558	0,023	0,754	296,736	10666,667	0,028	0,152	45,066

64	954,990	0,025	0,037	0,942	0,388	349,402	0,556	0,023	0,751	295,279	10666,667	0,028	0,152	44,861
65	957,309	0,025	0,037	0,943	0,391	353,062	0,554	0,024	0,747	293,839	10666,667	0,028	0,152	44,658
66	959,592	0,025	0,037	0,943	0,394	356,679	0,552	0,024	0,743	292,416	10666,667	0,027	0,152	44,457
67	961,841	0,025	0,037	0,944	0,397	360,255	0,551	0,024	0,740	291,009	10666,667	0,027	0,152	44,259
68	964,057	0,025	0,037	0,945	0,399	363,791	0,549	0,024	0,736	289,618	10666,667	0,027	0,152	44,062
69	966,240	0,025	0,037	0,946	0,402	367,287	0,547	0,025	0,733	288,243	10666,667	0,027	0,152	43,868
70	968,392	0,025	0,037	0,946	0,405	370,745	0,546	0,025	0,729	286,882	10666,667	0,027	0,152	43,676
71	970,514	0,025	0,037	0,947	0,407	374,166	0,544	0,025	0,726	285,537	10666,667	0,027	0,152	43,485
72	972,606	0,025	0,037	0,948	0,410	377,550	0,543	0,026	0,722	284,206	10666,667	0,027	0,152	43,297
73	974,669	0,025	0,037	0,948	0,412	380,898	0,541	0,026	0,719	282,888	10666,667	0,027	0,152	43,110
74	976,704	0,025	0,037	0,949	0,415	384,211	0,540	0,026	0,716	281,585	10666,667	0,026	0,152	42,925
75	978,712	0,025	0,037	0,949	0,417	387,490	0,538	0,026	0,713	280,295	10666,667	0,026	0,152	42,742
76	980,693	0,025	0,037	0,950	0,419	390,735	0,537	0,027	0,709	279,019	10666,667	0,026	0,153	42,561
77	982,648	0,025	0,037	0,951	0,422	393,948	0,535	0,027	0,706	277,755	10666,667	0,026	0,153	42,381
78	984,579	0,025	0,037	0,951	0,424	397,129	0,534	0,027	0,703	276,503	10666,667	0,026	0,153	42,203
79	986,484	0,025	0,037	0,952	0,426	400,278	0,533	0,028	0,700	275,232	10666,667	0,026	0,153	42,022
80	988,366	0,025	0,037	0,952	0,429	403,397	0,531	0,028	0,696	273,637	10666,667	0,026	0,153	41,795
81	990,224	0,025	0,037	0,953	0,431	406,486	0,530	0,028	0,692	272,057	10666,667	0,026	0,153	41,570
82	992,060	0,025	0,037	0,953	0,433	409,545	0,529	0,028	0,688	270,493	10666,667	0,025	0,153	41,347
83	993,873	0,025	0,037	0,954	0,435	412,575	0,528	0,029	0,684	268,943	10666,667	0,025	0,153	41,125
84	995,665	0,025	0,037	0,954	0,437	415,577	0,526	0,029	0,680	267,408	10666,667	0,025	0,153	40,906
85	997,436	0,025	0,037	0,955	0,440	418,552	0,525	0,029	0,676	265,886	10666,667	0,025	0,153	40,688
86	999,186	0,025	0,037	0,955	0,442	421,499	0,524	0,029	0,672	264,379	10666,667	0,025	0,153	40,473
87	1000,915	0,025	0,037	0,956	0,444	424,420	0,523	0,030	0,668	262,885	10666,667	0,025	0,153	40,259
88	1002,625	0,025	0,037	0,956	0,446	427,315	0,522	0,030	0,664	261,405	10666,667	0,025	0,153	40,047
89	1004,316	0,025	0,037	0,956	0,448	430,184	0,521	0,030	0,661	259,938	10666,667	0,024	0,153	39,836
90	1005,988	0,025	0,037	0,957	0,450	433,028	0,519	0,030	0,657	258,483	10666,667	0,024	0,153	39,627
91	1007,641	0,025	0,037	0,957	0,452	435,847	0,518	0,031	0,653	257,041	10666,667	0,024	0,153	39,420
92	1009,276	0,025	0,037	0,958	0,454	438,642	0,517	0,031	0,650	255,612	10666,667	0,024	0,153	39,215
93	1010,894	0,025	0,037	0,958	0,456	441,414	0,516	0,031	0,646	254,194	10666,667	0,024	0,153	39,011
94	1012,494	0,025	0,037	0,959	0,458	444,162	0,515	0,032	0,643	252,789	10666,667	0,024	0,154	38,808
95	1014,078	0,025	0,037	0,959	0,460	446,887	0,514	0,032	0,639	251,395	10666,667	0,024	0,154	38,607
96	1015,645	0,025	0,037	0,959	0,461	449,590	0,513	0,032	0,636	250,013	10666,667	0,023	0,154	38,408

97	1017,195	0,025	0,037	0,960	0,463	452,271	0,512	0,032	0,632	248,642	10666,667	0,023	0,154	38,210
98	1018,730	0,025	0,037	0,960	0,465	454,930	0,511	0,033	0,629	247,282	10666,667	0,023	0,154	38,014
99	1020,249	0,025	0,037	0,960	0,467	457,568	0,510	0,033	0,625	245,933	10666,667	0,023	0,154	37,819
100	1021,753	0,025	0,037	0,961	0,469	460,185	0,509	0,033	0,622	244,595	10666,667	0,023	0,154	37,625
101	1023,242	0,025	0,037	0,961	0,471	462,781	0,508	0,033	0,618	243,267	10666,667	0,023	0,154	37,433
102	1024,717	0,025	0,037	0,961	0,472	465,357	0,508	0,034	0,615	241,950	10666,667	0,023	0,154	37,243
103	1026,177	0,025	0,037	0,962	0,474	467,913	0,507	0,034	0,612	240,642	10666,667	0,023	0,154	37,053
104	1027,623	0,025	0,037	0,962	0,476	470,450	0,506	0,034	0,608	239,345	10666,667	0,022	0,154	36,865
105	1029,055	0,025	0,037	0,962	0,478	472,967	0,505	0,034	0,605	238,058	10666,667	0,022	0,154	36,678
106	1030,473	0,025	0,037	0,963	0,479	475,466	0,504	0,035	0,602	236,780	10666,667	0,022	0,154	36,493
107	1031,878	0,025	0,037	0,963	0,481	477,945	0,503	0,035	0,599	235,512	10666,667	0,022	0,154	36,308
108	1033,271	0,025	0,037	0,963	0,483	480,407	0,502	0,035	0,595	234,253	10666,667	0,022	0,154	36,125
109	1034,650	0,025	0,037	0,964	0,484	482,850	0,502	0,035	0,592	233,004	10666,667	0,022	0,154	35,944
110	1036,017	0,025	0,037	0,964	0,486	485,276	0,501	0,036	0,589	231,763	10666,667	0,022	0,154	35,763
111	1037,371	0,025	0,037	0,964	0,488	487,684	0,500	0,036	0,586	230,531	10666,667	0,022	0,154	35,584
112	1038,713	0,025	0,037	0,964	0,489	490,075	0,499	0,036	0,583	229,309	10666,667	0,021	0,154	35,405
113	1040,044	0,025	0,037	0,965	0,491	492,449	0,498	0,036	0,580	228,095	10666,667	0,021	0,154	35,228
114	1041,362	0,025	0,037	0,965	0,492	494,806	0,498	0,036	0,577	226,889	10666,667	0,021	0,154	35,052
115	1042,670	0,025	0,037	0,965	0,494	497,147	0,497	0,037	0,574	225,692	10666,667	0,021	0,155	34,878
116	1043,965	0,025	0,037	0,966	0,496	499,472	0,496	0,037	0,571	224,503	10666,667	0,021	0,155	34,704
117	1045,250	0,025	0,037	0,966	0,497	501,781	0,495	0,037	0,566	222,587	10666,667	0,021	0,154	34,383
118	1046,524	0,025	0,037	0,966	0,499	504,074	0,495	0,037	0,560	220,467	10666,667	0,021	0,154	34,022
119	1047,787	0,025	0,037	0,966	0,500	506,352	0,494	0,038	0,555	218,361	10666,667	0,020	0,154	33,663
120	1049,040	0,025	0,037	0,967	0,502	508,614	0,493	0,038	0,550	216,270	10666,667	0,020	0,154	33,307

Resistência residual da laje considerando isotérmica 300 e propriedades EN 1992-1-2

t	Tf	r	x	nw	nx	Tbar	nx'(300)	x'(300)	ks (θ)	Fs	Fcx	x	z	Mrd,res 300 EN (KNm)
0	20,000	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,000	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
1	349,214	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,014	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
2	444,505	0,025	0,037	0,000	0,000	20,000	0,000	0,019	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
3	502,289	0,025	0,037	0,140	0,000	20,000	1,000	0,001	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
4	543,887	0,025	0,037	0,332	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
5	576,410	0,025	0,037	0,451	0,000	20,000	1,000	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
6	603,118	0,025	0,037	0,533	0,000	20,000	0,934	0,002	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
7	625,777	0,025	0,037	0,592	0,000	20,000	0,810	0,004	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
8	645,455	0,025	0,037	0,637	0,014	20,000	0,729	0,005	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
9	662,846	0,025	0,037	0,673	0,035	20,000	0,673	0,006	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
10	678,427	0,025	0,037	0,702	0,054	25,879	0,630	0,007	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
11	692,540	0,025	0,037	0,726	0,072	35,944	0,597	0,009	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
12	705,436	0,025	0,037	0,746	0,087	45,876	0,570	0,010	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
13	717,310	0,025	0,037	0,763	0,102	55,617	0,548	0,011	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
14	728,312	0,025	0,037	0,778	0,115	65,136	0,529	0,012	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
15	738,561	0,025	0,037	0,791	0,127	74,420	0,513	0,013	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
16	748,153	0,025	0,037	0,803	0,139	83,461	0,499	0,014	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
17	757,169	0,025	0,037	0,813	0,150	92,263	0,487	0,014	1,000	393,391	10666,667	0,037	0,148	58,319
18	765,672	0,025	0,037	0,822	0,160	100,829	0,476	0,015	0,999	393,065	10666,667	0,037	0,148	58,276
19	773,719	0,025	0,037	0,831	0,170	109,165	0,467	0,016	0,991	389,786	10666,667	0,037	0,148	57,838
20	781,355	0,025	0,037	0,838	0,179	117,281	0,458	0,017	0,983	386,593	10666,667	0,036	0,149	57,410
21	788,621	0,025	0,037	0,845	0,188	125,185	0,450	0,018	0,975	383,484	10666,667	0,036	0,149	56,993
22	795,551	0,025	0,037	0,851	0,196	132,884	0,443	0,019	0,967	380,455	10666,667	0,036	0,149	56,586
23	802,174	0,025	0,037	0,857	0,204	140,389	0,437	0,019	0,960	377,502	10666,667	0,035	0,149	56,189
24	808,517	0,025	0,037	0,862	0,212	147,708	0,430	0,020	0,952	374,623	10666,667	0,035	0,149	55,801
25	814,603	0,025	0,037	0,867	0,219	154,850	0,425	0,021	0,945	371,814	10666,667	0,035	0,149	55,421
26	820,450	0,025	0,037	0,871	0,226	161,821	0,420	0,022	0,938	369,072	10666,667	0,035	0,149	55,051
27	826,079	0,025	0,037	0,876	0,233	168,630	0,415	0,022	0,931	366,393	10666,667	0,034	0,149	54,688
28	831,503	0,025	0,037	0,880	0,240	175,284	0,410	0,023	0,925	363,775	10666,667	0,034	0,149	54,333
29	836,738	0,025	0,037	0,883	0,246	181,790	0,406	0,024	0,918	361,216	10666,667	0,034	0,149	53,985
30	841,796	0,025	0,037	0,887	0,252	188,155	0,402	0,024	0,912	358,712	10666,667	0,034	0,150	53,645

31	846,689	0,025	0,037	0,890	0,258	194,383	0,398	0,025	0,906	356,262	10666,667	0,033	0,150	53,311
32	851,427	0,025	0,037	0,893	0,264	200,482	0,395	0,026	0,900	353,862	10666,667	0,033	0,150	52,984
33	856,020	0,025	0,037	0,896	0,269	206,457	0,391	0,026	0,894	351,512	10666,667	0,033	0,150	52,663
34	860,476	0,025	0,037	0,898	0,275	212,312	0,388	0,027	0,888	349,209	10666,667	0,033	0,150	52,348
35	864,804	0,025	0,037	0,901	0,280	218,053	0,385	0,028	0,882	346,950	10666,667	0,033	0,150	52,039
36	869,010	0,025	0,037	0,903	0,285	223,684	0,382	0,028	0,876	344,735	10666,667	0,032	0,150	51,735
37	873,101	0,025	0,037	0,906	0,290	229,209	0,379	0,029	0,871	342,561	10666,667	0,032	0,150	51,437
38	877,083	0,025	0,037	0,908	0,295	234,633	0,377	0,029	0,865	340,428	10666,667	0,032	0,150	51,144
39	880,963	0,025	0,037	0,910	0,299	239,960	0,374	0,030	0,860	338,332	10666,667	0,032	0,150	50,856
40	884,744	0,025	0,037	0,912	0,304	245,192	0,372	0,031	0,855	336,274	10666,667	0,032	0,150	50,572
41	888,433	0,025	0,037	0,914	0,308	250,333	0,369	0,031	0,850	334,251	10666,667	0,031	0,150	50,293
42	892,032	0,025	0,037	0,916	0,313	255,388	0,367	0,032	0,845	332,263	10666,667	0,031	0,151	50,019
43	895,548	0,025	0,037	0,917	0,317	260,358	0,365	0,032	0,840	330,308	10666,667	0,031	0,151	49,749
44	898,982	0,025	0,037	0,919	0,321	265,246	0,363	0,033	0,835	328,385	10666,667	0,031	0,151	49,483
45	902,340	0,025	0,037	0,921	0,325	270,057	0,361	0,033	0,830	326,492	10666,667	0,031	0,151	49,221
46	905,624	0,025	0,037	0,922	0,329	274,791	0,359	0,034	0,825	324,630	10666,667	0,030	0,151	48,963
47	908,838	0,025	0,037	0,924	0,333	279,452	0,357	0,035	0,821	322,796	10666,667	0,030	0,151	48,708
48	911,984	0,025	0,037	0,925	0,337	284,042	0,356	0,035	0,816	320,991	10666,667	0,030	0,151	48,458
49	915,065	0,025	0,037	0,926	0,340	288,563	0,354	0,036	0,811	319,212	10666,667	0,030	0,151	48,210
50	918,085	0,025	0,037	0,928	0,344	293,018	0,352	0,036	0,807	317,460	10666,667	0,030	0,151	47,967
51	921,045	0,025	0,037	0,929	0,348	297,408	0,351	0,037	0,803	315,733	10666,667	0,030	0,151	47,726
52	923,947	0,025	0,037	0,930	0,351	301,736	0,349	0,037	0,798	314,030	10666,667	0,029	0,151	47,423
53	926,794	0,025	0,037	0,931	0,355	306,003	0,348	0,038	0,794	312,351	10666,667	0,029	0,151	47,029
54	929,588	0,025	0,037	0,932	0,358	310,211	0,346	0,038	0,790	310,696	10666,667	0,029	0,150	46,641
55	932,331	0,025	0,037	0,933	0,361	314,362	0,345	0,039	0,786	309,063	10666,667	0,029	0,150	46,259
56	935,025	0,025	0,037	0,935	0,364	318,458	0,343	0,039	0,782	307,452	10666,667	0,029	0,149	45,882
57	937,671	0,025	0,037	0,936	0,368	322,500	0,342	0,040	0,778	305,862	10666,667	0,029	0,149	45,512
58	940,271	0,025	0,037	0,937	0,371	326,489	0,341	0,040	0,774	304,292	10666,667	0,029	0,148	45,146
59	942,827	0,025	0,037	0,937	0,374	330,428	0,339	0,041	0,770	302,743	10666,667	0,028	0,148	44,786
60	945,340	0,025	0,037	0,938	0,377	334,316	0,338	0,041	0,766	301,213	10666,667	0,028	0,148	44,431
61	947,812	0,025	0,037	0,939	0,380	338,157	0,337	0,042	0,762	299,702	10666,667	0,028	0,147	44,081
62	950,243	0,025	0,037	0,940	0,383	341,951	0,336	0,042	0,758	298,210	10666,667	0,028	0,147	43,736
63	952,636	0,025	0,037	0,941	0,386	345,698	0,335	0,043	0,754	296,736	10666,667	0,028	0,146	43,396

64	954,990	0,025	0,037	0,942	0,388	349,402	0,334	0,043	0,751	295,279	10666,667	0,028	0,146	43,060
65	957,309	0,025	0,037	0,943	0,391	353,062	0,332	0,044	0,747	293,839	10666,667	0,028	0,145	42,729
66	959,592	0,025	0,037	0,943	0,394	356,679	0,331	0,044	0,743	292,416	10666,667	0,027	0,145	42,402
67	961,841	0,025	0,037	0,944	0,397	360,255	0,330	0,044	0,740	291,009	10666,667	0,027	0,145	42,079
68	964,057	0,025	0,037	0,945	0,399	363,791	0,329	0,045	0,736	289,618	10666,667	0,027	0,144	41,761
69	966,240	0,025	0,037	0,946	0,402	367,287	0,328	0,045	0,733	288,243	10666,667	0,027	0,144	41,447
70	968,392	0,025	0,037	0,946	0,405	370,745	0,327	0,046	0,729	286,882	10666,667	0,027	0,143	41,137
71	970,514	0,025	0,037	0,947	0,407	374,166	0,326	0,046	0,726	285,537	10666,667	0,027	0,143	40,830
72	972,606	0,025	0,037	0,948	0,410	377,550	0,326	0,047	0,722	284,206	10666,667	0,027	0,143	40,527
73	974,669	0,025	0,037	0,948	0,412	380,898	0,325	0,047	0,719	282,888	10666,667	0,027	0,142	40,229
74	976,704	0,025	0,037	0,949	0,415	384,211	0,324	0,048	0,716	281,585	10666,667	0,026	0,142	39,933
75	978,712	0,025	0,037	0,949	0,417	387,490	0,323	0,048	0,713	280,295	10666,667	0,026	0,141	39,642
76	980,693	0,025	0,037	0,950	0,419	390,735	0,322	0,048	0,709	279,019	10666,667	0,026	0,141	39,353
77	982,648	0,025	0,037	0,951	0,422	393,948	0,321	0,049	0,706	277,755	10666,667	0,026	0,141	39,068
78	984,579	0,025	0,037	0,951	0,424	397,129	0,320	0,049	0,703	276,503	10666,667	0,026	0,140	38,787
79	986,484	0,025	0,037	0,952	0,426	400,278	0,320	0,050	0,700	275,232	10666,667	0,026	0,140	38,504
80	988,366	0,025	0,037	0,952	0,429	403,397	0,319	0,050	0,696	273,637	10666,667	0,026	0,140	38,182
81	990,224	0,025	0,037	0,953	0,431	406,486	0,318	0,051	0,692	272,057	10666,667	0,026	0,139	37,863
82	992,060	0,025	0,037	0,953	0,433	409,545	0,317	0,051	0,688	270,493	10666,667	0,025	0,139	37,548
83	993,873	0,025	0,037	0,954	0,435	412,575	0,317	0,051	0,684	268,943	10666,667	0,025	0,138	37,236
84	995,665	0,025	0,037	0,954	0,437	415,577	0,316	0,052	0,680	267,408	10666,667	0,025	0,138	36,928
85	997,436	0,025	0,037	0,955	0,440	418,552	0,315	0,052	0,676	265,886	10666,667	0,025	0,138	36,624
86	999,186	0,025	0,037	0,955	0,442	421,499	0,314	0,053	0,672	264,379	10666,667	0,025	0,137	36,323
87	1000,915	0,025	0,037	0,956	0,444	424,420	0,314	0,053	0,668	262,885	10666,667	0,025	0,137	36,025
88	1002,625	0,025	0,037	0,956	0,446	427,315	0,313	0,054	0,664	261,405	10666,667	0,025	0,137	35,731
89	1004,316	0,025	0,037	0,956	0,448	430,184	0,312	0,054	0,661	259,938	10666,667	0,024	0,136	35,440
90	1005,988	0,025	0,037	0,957	0,450	433,028	0,312	0,054	0,657	258,483	10666,667	0,024	0,136	35,152
91	1007,641	0,025	0,037	0,957	0,452	435,847	0,311	0,055	0,653	257,041	10666,667	0,024	0,136	34,867
92	1009,276	0,025	0,037	0,958	0,454	438,642	0,310	0,055	0,650	255,612	10666,667	0,024	0,135	34,585
93	1010,894	0,025	0,037	0,958	0,456	441,414	0,310	0,056	0,646	254,194	10666,667	0,024	0,135	34,307
94	1012,494	0,025	0,037	0,959	0,458	444,162	0,309	0,056	0,643	252,789	10666,667	0,024	0,135	34,031
95	1014,078	0,025	0,037	0,959	0,460	446,887	0,309	0,056	0,639	251,395	10666,667	0,024	0,134	33,758
96	1015,645	0,025	0,037	0,959	0,461	449,590	0,308	0,057	0,636	250,013	10666,667	0,023	0,134	33,488

97	1017,195	0,025	0,037	0,960	0,463	452,271	0,307	0,057	0,632	248,642	10666,667	0,023	0,134	33,221
98	1018,730	0,025	0,037	0,960	0,465	454,930	0,307	0,057	0,629	247,282	10666,667	0,023	0,133	32,956
99	1020,249	0,025	0,037	0,960	0,467	457,568	0,306	0,058	0,625	245,933	10666,667	0,023	0,133	32,694
100	1021,753	0,025	0,037	0,961	0,469	460,185	0,306	0,058	0,622	244,595	10666,667	0,023	0,133	32,435
101	1023,242	0,025	0,037	0,961	0,471	462,781	0,305	0,059	0,618	243,267	10666,667	0,023	0,132	32,179
102	1024,717	0,025	0,037	0,961	0,472	465,357	0,305	0,059	0,615	241,950	10666,667	0,023	0,132	31,925
103	1026,177	0,025	0,037	0,962	0,474	467,913	0,304	0,059	0,612	240,642	10666,667	0,023	0,132	31,674
104	1027,623	0,025	0,037	0,962	0,476	470,450	0,303	0,060	0,608	239,345	10666,667	0,022	0,131	31,425
105	1029,055	0,025	0,037	0,962	0,478	472,967	0,303	0,060	0,605	238,058	10666,667	0,022	0,131	31,178
106	1030,473	0,025	0,037	0,963	0,479	475,466	0,302	0,060	0,602	236,780	10666,667	0,022	0,131	30,934
107	1031,878	0,025	0,037	0,963	0,481	477,945	0,302	0,061	0,599	235,512	10666,667	0,022	0,130	30,692
108	1033,271	0,025	0,037	0,963	0,483	480,407	0,301	0,061	0,595	234,253	10666,667	0,022	0,130	30,453
109	1034,650	0,025	0,037	0,964	0,484	482,850	0,301	0,062	0,592	233,004	10666,667	0,022	0,130	30,216
110	1036,017	0,025	0,037	0,964	0,486	485,276	0,300	0,062	0,589	231,763	10666,667	0,022	0,129	29,981
111	1037,371	0,025	0,037	0,964	0,488	487,684	0,300	0,062	0,586	230,531	10666,667	0,022	0,129	29,748
112	1038,713	0,025	0,037	0,964	0,489	490,075	0,299	0,063	0,583	229,309	10666,667	0,021	0,129	29,518
113	1040,044	0,025	0,037	0,965	0,491	492,449	0,299	0,063	0,580	228,095	10666,667	0,021	0,128	29,290
114	1041,362	0,025	0,037	0,965	0,492	494,806	0,299	0,063	0,577	226,889	10666,667	0,021	0,128	29,063
115	1042,670	0,025	0,037	0,965	0,494	497,147	0,298	0,064	0,574	225,692	10666,667	0,021	0,128	28,839
116	1043,965	0,025	0,037	0,966	0,496	499,472	0,298	0,064	0,571	224,503	10666,667	0,021	0,127	28,617
117	1045,250	0,025	0,037	0,966	0,497	501,781	0,297	0,064	0,566	222,587	10666,667	0,021	0,127	28,310
118	1046,524	0,025	0,037	0,966	0,499	504,074	0,297	0,065	0,560	220,467	10666,667	0,021	0,127	27,980
119	1047,787	0,025	0,037	0,966	0,500	506,352	0,296	0,065	0,555	218,361	10666,667	0,020	0,127	27,653
120	1049,040	0,025	0,037	0,967	0,502	508,614	0,296	0,066	0,550	216,270	10666,667	0,020	0,126	27,329