

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA CIVIL 3**



**ARMANDO DIAS DUARTE**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA CIVIL 3**



**ARMANDO DIAS DUARTE**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

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

**Diagramação:** Maria Alice Pinheiro  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Armando Dias Duarte

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

D812 Coleção desafios das engenharias: engenharia civil 3 /  
Organizador Armando Dias Duarte. – Ponta Grossa -  
PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-639-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.390212610>

1. Engenharia civil. I. Duarte, Armando Dias. II. Título.  
CDD 624

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

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

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

## APRESENTAÇÃO

A coleção de trabalhos intitulada “Coleção desafios das engenharias: Engenharia Civil 3” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de trabalhos diversos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que através dos resultados, possam auxiliar na tomada de decisão, tanto no campo acadêmico, quanto no desenvolvimento profissional.

Os estudos apresentados, foram desenvolvidos em diversas instituições de ensino e pesquisa do país e também um caso internacional. Em todos esses trabalhos foram apresentadas diversas problemáticas a respeito do estudo de interação solo-estrutura, orçamento de obras, desempenho de materiais, aditivos para materiais da construção civil, análises através da ferramenta Building Information Modelling (BIM), gestão de resíduos **sólidos**, entre outros. Os estudos presentes nos trazem à tona, temas interdisciplinares através da segurança de obras civis, aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Os temas discutidos nesta obra, possuem a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área da Engenharia Civil, com temáticas atuais e que são apresentadas como desafios enfrentados pelos profissionais e acadêmicos, deste modo a obra “Coleção desafios das engenharias: Engenharia Civil 3”, apresenta uma teoria fundamentada nos resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que desenvolveram seus trabalhos e pesquisas, os quais serão apresentados de maneira concisa e didática.

A divulgação científica é de suma importância para o desenvolvimento de toda uma nação, portanto, fica evidenciada a responsabilidade de transmissão dos saberes através de plataformas consolidadas e confiáveis, sendo a Atena Editora, capaz de oferecer uma maior segurança para os novos pesquisadores e os que já atuam nas diferentes áreas de pesquisa, exporem e divulguem seus resultados.

Armando Dias Duarte

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

ANÁLISE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO SOBRE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

Mateus Lima Barros

Vinicius Costa Correia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126101>

### **CAPÍTULO 2..... 13**

ANÁLISE DE HASTES DELGADAS EM GRELHAS HIPERESTÁTICAS

Antônio Luís Alves da Cunha

Luiz Carlos Mendes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126102>

### **CAPÍTULO 3..... 28**

ANÁLISE DE SÓLIDOS INELÁSTICOS SOB DEFORMAÇÃO FINITA USANDO ELEMENTOS BIARTICULADOS 2D E 3D

William Taylor Matias Silva

Sebastião Simão da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126103>

### **CAPÍTULO 4..... 46**

APLICAÇÃO DA NORMA ABNT NBR 16747 (2020) – INSPEÇÃO PREDIAL EM EMPREENDIMENTOS RURAIS – ESTUDO DE CASO

Camilla Cristina Cunha Menezes

Marcos de Paulo Ramos

Thiago Pena Bortone

Rachel Jardim Martini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126104>

### **CAPÍTULO 5..... 58**

APLICAÇÃO DE CURSO EXTENSÃO DE ORÇAMENTO DE OBRAS EM BIM COMPARANDO COM A METODOLOGIA ATUAL DA DISCIPLINA DE ORÇAMENTO DE OBRAS DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE – CAMPUS ESTÂNCIA

Anna Cristina Araujo de Jesus Cruz

José Carlos de Anunciação Cardoso Júnior

Mariana Silveira Araujo

Natália Ramos dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126105>

### **CAPÍTULO 6..... 67**

CORROSÃO NA ARMADURA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DEVIDO AO ATAQUE DE SULFATOS

Henrique Resende dos Santos

Adriano de Paula e Silva

Eduardo Chahud  
Cristiane Machado Parisi Jonov

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126106>

**CAPÍTULO 7..... 78**

**DANOS PÓS INCÊNDIO NA ESTRUTURA DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA. UM ESTUDO DE CASO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

Rodolpho Medeiros Frossard  
Anna Luiza Macachero Victor Rodrigues  
Lara Sandrini  
Matheus Carreiro Zani  
Warribe Lima de Siqueira  
Geilma Lima Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126107>

**CAPÍTULO 8..... 90**

**DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE CONCRETOS CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS E RESFRIAMENTO LENTO**

Moacyr Salles Neto  
Flávio Roldão de Carvalho Lelis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126108>

**CAPÍTULO 9..... 103**

**DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HOSPITALARES VIA DIMENSÕES MORFOLÓGICAS**

Alyria Donegá  
João da Costa Pantoja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126109>

**CAPÍTULO 10..... 115**

**DIFICULDADE DOS DISCENTES DE ENGENHARIA CIVIL NA MATÉRIA DE MECÂNICA VETORIAL COMPARANDO OS PARÂMETROS DO ENSINO PRESENCIAL E DO ENSINO REMOTO**

Alessandro Leonardo da Silva  
Emanuela dos Santos Gonzaga  
Gustavo Neves Quintão Gonzales  
Marcelo Robert Fonseca Gontijo  
Thais Prado Vasconcelos Silva  
Rodrigo Silva Fonseca  
Heron Viterbre Debique Sousa  
Ícaro Viterbre Debique Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261010>

**CAPÍTULO 11..... 125**

**EFEITO DO TEOR e TIPO de CIMENTO NO MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE SOLO ARENOSO ESTABILIZADO QUIMICAMENTE**

José Wilson dos Santos Ferreira  
Michéle Dal Toé Casagrande

Raquel Souza Teixeira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261011>

**CAPÍTULO 12..... 136**

ESTUDIOS DE PELIGRO SÍSMICO EN EL MUNICIPIO DE IXHUACÁN DE LOS REYES, VERACRUZ

Gilbert Francisco Torres Morales

Ignacio Mora González

Saúl Castillo Aguilar

René Álvarez Lima

Raymundo Dávalos Sotelo

José Alberto Aguilar Cobos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261012>

**CAPÍTULO 13..... 150**

ESTUDO DA APLICAÇÃO DO LÁTEX DA SERINGUEIRA AMAZÔNICA (*HEVEA BRASILIENSIS*) COMO ADITIVO EM ARGAMASSA COM CIMENTO PORTLAND PARA MELHORA DE COMPORTAMENTO MECÂNICO

José Costa Feitoza

Natália da Mata Batista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261013>

**CAPÍTULO 14..... 160**

ESTUDO DE UMA CONTENÇÃO UTILIZANDO FERRAMENTA NUMÉRICA E MÉTODOS APROXIMADOS DE DIMENSIONAMENTO DE TIRANTES

Renathielly Fernanda da Silva Brunetta

Isabela Grossi da Silva

Leandro Canezin Guideli

Vitor Pereira Faro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261014>

**CAPÍTULO 15..... 173**

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO NO GNAISSE MILONÍTICO

Kelly de Oliveira Borges da Costa

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

Carlos Maurício Fontes Vieira

Elaine Aparecida Santos Carvalho Costa

Geovana Carla Girondi Delaqua

Gustavo de Castro Xavier

Letícia Borges da Costa

Vinícius Alves Polinicola

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261015>

**CAPÍTULO 16..... 183**

VIGAS DE GRAN ALTURA DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE

Viviana Carolina Rougier

Miqueas Ceferino Denardi

Dario Orestes Vercesi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261016>

**CAPÍTULO 17..... 195**

**GESTÃO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE AR CONDICIONADO: UMA NOVA ABORDAGEM USANDO MODELAGEM 6D**

João Bosco Pinheiro Dantas Filho

Guilherme Bruno de Souza Ribeiro

Pedro Holanda

Bruna Vital Roque

Rodrigo G. Ribeiro

Artur de Almeida Evangelista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261017>

**CAPÍTULO 18..... 206**

**GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS GRAÚDOS COMERCIALIZADOS NOS MUNICÍPIOS DA CHAPADA DO APODI/RN – ANÁLISE COMPARATIVA COM A NORMA NBR 7211/2009**

Renata Samyla Matias Nogueira

Clélio Rodrigo Paiva Rafael

Edna Lucia da Rocha Linhares

Ronald Assis Fonseca

Rokátia Lorrany Nogueira Marinho

Ligia Raquel Rodrigues Santos

Jaiana de Araújo Pinheiro

Carlos Eduardo Carvalho Oliveira

Edyelly Cristtian Galdino Fernandes

Francisco Felinto de Lima Neto

Luzianne Galvão Pimenta

Géssica de Moura Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261018>

**CAPÍTULO 19..... 221**

**INSPEÇÃO PREDIAL EM EMPREENDIMENTOS RURAIS APLICABILIDADE DA NBR 16747**

Camilla Cristina Cunha Menezes

Marcos de Paulo Ramos

Thiago Pena Bortone

Rachel Jardim Martini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261019>

**CAPÍTULO 20..... 232**

**GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Wallace Ribeiro Nunes Neto

Camila Moraes Silva

Pedro Paulo Barbosa Nunes Sobrinho

Carlos Augusto Rocha de Moraes Rego  
Lourival Coelho Paixão  
Marcio Mendes Cerqueira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261020>

**CAPÍTULO 21..... 241**

**LOCUS SAECULARIS: MATERIAIS QUE CONSTRÍRAM UMA TRADIÇÃO**

João Hermem Fagundes Tozatto  
Crystian André Montozo Botelho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261021>

**CAPÍTULO 22..... 253**

**MODELAGEM NUMÉRICA DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA EM ÁREA URBANA**

Isabela Grossi da Silva  
Renathielly Fernanda da Silva Brunetta  
Leandro Canezin Guideli  
Vitor Pereira Faro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261022>

**CAPÍTULO 23..... 266**

**NOVA TECNOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DE TORRES EÓLICAS**

Ilo Borba

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261023>

**CAPÍTULO 24..... 273**

**O CORREDOR BIOCEÂNICO: REESTRUTURAÇÃO TERRITORIAL DE NOVAS HINTERLÂNDIAS**

Carlos Andrés Hernández Arriagada  
Teo Felipe Bruder Gouveia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261024>

**CAPÍTULO 25..... 287**

**O MAPA DE DANOS COMO FERRAMENTA DE MANUTENÇÃO E RESTAURO DE EDIFICAÇÕES: UMA REVISÃO LITERÁRIA**

Lucas Rodrigues Cavalcanti  
Eliana Cristina Barreto Monteiro  
Carlos Fernando Gomes do Nascimento  
Catharina Silveira Rodrigues  
Fabrício Fernando de Souza Lima  
Amanda de Moraes Alves Figueira  
José Maria de Moura Júnior  
Sabrina Santiago Oliveira  
Roberto Revoredo de Almeida Filho  
Flávio Matheus de Moraes Cavalcante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261025>

<b>CAPÍTULO 26.....</b>	<b>302</b>
TREINAMENTO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA O DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO	
João Victor Fernandes Masalkas	
Emerson Felipe Felix	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261026">https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261026</a>	
<b>CAPÍTULO 27.....</b>	<b>316</b>
UMA FORMULAÇÃO ANALÍTICA PARA DETECÇÃO DE PONTOS LIMITES E DE BIFURCAÇÃO	
William Taylor Matias Silva	
Sebastião Simão da Silva	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261027">https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261027</a>	
<b>CAPÍTULO 28.....</b>	<b>333</b>
UTILIZAÇÃO DO CARVÃO OBTIDO A PARTIR DA PIRÓLISE DA CASCA DE ARROZ PARA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO	
Camila Ribeiro Rodrigues	
Marcelo Mendes Pedroza	
Mayara Shelly Miranda Bequimam	
David Barbosa Dourado	
Danielma Silva Maia	
Marcel Sousa Marques	
Hellen Dayany Barboza Barros	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261028">https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261028</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>338</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>339</b>

## DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE CONCRETOS CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS E RESFRIAMENTO LENTO

Data de aceite: 01/10/2021

Data de submissão: 05/06/2021

### Moacyr Salles Neto

IFTO – Campus Palmas, Coordenação de Engenharia Civil  
Palmas – TO  
<http://lattes.cnpq.br/0431887308178916>

### Flávio Roldão de Carvalho Lelis

IFTO – Campus Palmas, Coordenação de Engenharia Civil  
Palmas – TO  
<http://lattes.cnpq.br/7287069183620494>

**RESUMO:** Quando submetido a temperaturas elevadas, como as decorrentes de um incêndio, apesar de incombustível, o concreto apresenta um significativo comprometimento de suas propriedades físico-químicas, com redução de sua resistência mecânica, módulo de elasticidade e aderência entre a pasta de cimento e os agregados, bem como entre o concreto e a armadura em peças estruturais, sendo ainda observadas fissurações decorrentes da amplitude térmica e mudanças químicas dos compostos (GEORGALI e TSAKIRIDIS, 2004; SHORT, PURKISS e GUISE, 2001). A análise da confiabilidade estrutural, após um sinistro de incêndio, é inicialmente precedida pela observação visual da estrutura, atentando-se a sua mudança de coloração, padrões de fissuração e lascamentos explosivos (*spalling*) (WENDT, 2006). O trabalho, desenvolvido no

Campus Palmas do IFTO, integra a linha de pesquisa de Estruturas em Situação de Incêndio, e buscou quantificar o comprometimento do desempenho mecânico do concreto com relação água/aglomerante igual a 0,48, submetido a temperaturas elevadas e posterior resfriamento lento, através de sua resistência à compressão, dureza superficial e módulo de elasticidade. Foram empregados cimento Portland CP IV-32RS, areia de rio lavada e agregado graúdo tipo pedra britada granítica. Os corpos de prova foram divididos em séries, submetidas às temperaturas de 400°C, 550°C e 800°C. Os resultados indicam um comprometimento geral das propriedades mecânicas, em especial do Módulo de Elasticidade, associado à fissuração por *spalling*, e foram confrontados com pesquisas já desenvolvidas pelo grupo.

**PALAVRAS - CHAVE:** Concreto. Altas Temperaturas. Degradação.

### THERMAL DEGRADATION OF CONVENTIONAL CONCRETES UNDER HIGH TEMPERATURES AND SLOW COOLING

**ABSTRACT:** When submitted to high temperatures, as actions under a fire, despite noncombustible, the concrete has a significant decrease in its physical and chemical properties, with a reduction of mechanical strength, modulus and adhesion between the cement paste and aggregate, and between concrete and reinforcement in structural parts, still being observed cracks arising from temperature variation and chemical changes of the compounds (GEORGALI e TSAKIRIDIS, 2004; SHORT,

PURKISS e GUISE, 2001). The analysis of structural reliability, after a sinister fire, is initially preceded by visual observation of the structure, paying attention to their color change, cracking patterns and spalling (WENDT, 2006). The present work, developed at IFTO Campus Palmas, integrates the research line of Structures in Fire Situation, and search for the damage of the mechanical behavior of concrete with water/cement ratio 0.48, submitted to high temperatures, and subsequent slow cooling, by monitoring of its compressive strength, surface hardness and modulus. Will be used Portland cement CP IV-32RS, sand and coarse aggregate type granitic stone. The samples were divided into series, submitted to temperatures of 400°C, 550°C and 800°C. The results indicate a general degradation of the mechanical properties, mainly of the modulus, associated with spalling cracking. The results were compared with researches already developed by the group.

**KEYWORDS:** Concrete. High Temperatures. Degradation.

## 1 | INTRODUÇÃO

Diversos materiais empregados na construção civil apresentam degradação quando expostos a altas temperaturas, o que demanda proteções adicionais em casos de incêndios em edificações. Dentre os materiais empregados em soluções estruturais, o concreto apresenta vantagens adicionais, por ser incombustível e não emitir gases tóxicos quando exposto a elevadas temperaturas. Possui ainda a capacidade de manter sua resistência por um período de tempo consideravelmente longo, comparado aos demais materiais, viabilizando resgates em caso de sinistros causados por incêndios (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Mesmo com elevado desempenho frente à exposição ao fogo, o concreto sofre modificações em sua estrutura física e química durante o aquecimento, acarretando a degradação paulatina do mesmo (PIASTA, 1984). São normalmente constatadas perdas na resistência à compressão, redução do módulo de elasticidade, abertura de fissuras oriundas de tensões térmicas, destruição da aderência entre a pasta de cimento e os agregados, mudanças químicas dos compostos da pasta de cimento endurecida e a perda de aderência entre o concreto e o aço (GEORGALI e TSAKIRIDIS, 2004; SHORT; PURKISS e GUISE, 2001).

As alterações no concreto são resultantes de sua constituição, bem como da evaporação da água, uma vez que os componentes se desidratam e modificam quando aquecidos. Quando os poros da estrutura se abrem, o vapor escapa e resulta em um alívio das tensões geradas pelo calor (KUTZING, 2002). Além disso, a permeabilidade do concreto, o tamanho da peça e a taxa de crescimento da temperatura também influenciam, pois administram o desenvolvimento destas tensões (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O estudo das alterações do concreto exposto a altas temperaturas se faz extremamente importante para pesquisas forenses e análises de confiabilidade estrutural, (WENDT, 2006).

## 2 | OBJETIVOS

Quantificar e analisar a degradação térmica sofrida por uma amostra de concreto estrutural, confeccionada com relação água/cimento igual a 0,48, quando submetida às situações análogas às de um incêndio com subsequente resfriamento lento da estrutura. Foram acompanhadas as variações apresentadas pela resistência à compressão, pela dureza superficial através do esclerômetro de reflexão e do módulo de elasticidade, assim como o padrão e abertura de fissuras decorrentes das elevadas temperaturas de exposição. Foram empregadas temperaturas de 400°C, 550°C e 800°C, sendo analisadas comparativamente a uma amostra de referência.

## 3 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi estruturado buscando-se abordar os principais fatores constituintes na determinação da confiabilidade estrutural de concretos submetidos a sinistros de incêndio. Foram para tanto definidas as condições fixas, representadas na Figura 1, as variáveis independentes e seus campos de variação, conforme ilustra a Figura 2, e, em seguida, as variáveis dependentes necessárias ao estudo, relacionadas na Figura 3. A pesquisa desenvolvida foi de caráter experimental, cujos ensaios foram realizados nos Laboratórios de Construção Civil 2 e 3 do Campus Palmas do IFTO.

### 3.1 Variáveis do Trabalho

Com a finalidade de alcançar os objetivos propostos, foram determinadas as seguintes condições fixas: tipo de cimento e agregados empregados, bem como o traço de concreto confeccionado. Estas variáveis encontram-se representadas na Figura 1. Sua determinação foi considerada pela maior disponibilidade de aquisição no mercado local, por configurar o maior volume comercializado na região, no ano de 2017, e pelo alinhamento com pesquisas anteriormente desenvolvidas. O traço confeccionado possuía teor de argamassa de 49%.



Figura 1 – Condições fixas do programa experimental

As variáveis independentes relacionavam-se às temperaturas de exposição, e são ilustradas na Figura 2. Quando de sua escolha, foram adotadas temperaturas já estudadas anteriormente pelo grupo de pesquisa.

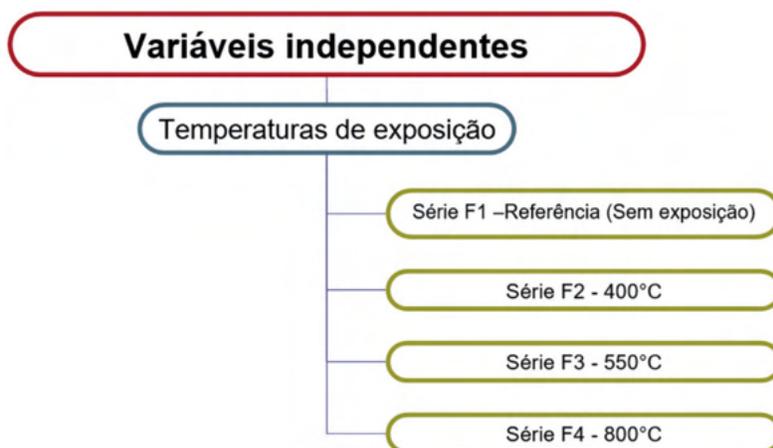


Figura 2 – Variáveis independentes do programa experimental

As variáveis dependentes, relacionadas à resistência à compressão, à avaliação da dureza superficial através do esclerômetro de reflexão, ao acompanhamento do módulo de elasticidade e abertura de fissuras, encontram-se relacionadas na Figura 3.



Figura 3 – Variáveis dependentes do programa experimental

Todos os corpos de prova confeccionados possuíam formato cilíndrico, com 10cm de diâmetro e 20cm de altura, sendo retificados anteriormente à exposição às temperaturas de controle. Na determinação da dureza superficial foi empregado um esclerômetro digital de reflexão tipo N, ilustrado na Figura 4, empregando a curva de correlação 10% *lower*. Na elaboração do diagrama tensão-deformação do concreto os corpos de prova foram instrumentados com extensômetros eletrônicos acoplados a uma máquina universal de ensaios com capacidade de 200tf, conforme ilustrado na Figura 5.



Figura 4 – Esclerômetro tipo N empregado na determinação da dureza superficial do concreto



Figura 5 – Extensômetros eletrônicos empregados na determinação do diagrama tensão-deformação

### 3.2 Ciclos de Exposição

Todos os corpos-de-prova integrantes do programa experimental (em um total de 24), foram mantidos em cura úmida por 28 dias, quanto, então foram mantidos em estufa a 110°C, até constância de massa, para interrupção do processo de hidratação do cimento Portland, permanecendo em ambiente seco e abrigado até a data de ensaio.

O forno tipo mufla empregado, o qual encontra-se ilustrado na Figura 6, possuía capacidade para armazenagem simultânea de até 8 corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10x20cm, sendo previamente programado para atingir a temperatura de exposição a uma taxa de 10°C por segundo, mantendo a temperatura final por 30 minutos,

conforme sugerido pela NBR14432(2000), e empregado em pesquisas já desenvolvidas pelo grupo. Decorrido o tempo de exposição, as amostras foram retiradas e mantidas em local abrigado até atingirem a temperatura ambiente. Tiveram então a configuração de sua superfície registrada, bem como determinadas a dureza superficial, a resistência à compressão e o módulo de elasticidade. A identificação das séries moldadas encontra-se na Tabela 1.



Figura 6 – Forno tipo mufla utilizado

Série	Número de CPs moldados	Relação % <sub>c</sub>	Temperatura de exposição
T1F1	6	0,48	Referência – sem exposição
T1F2	6	0,48	400°C
T1F3	6	0,48	550°C
T1F4	6	0,48	800°C

Tabela 1 – Relação das séries confeccionadas

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização dos Materiais Empregados

Foram empregados os mesmos materiais das pesquisas já desenvolvidas pelo grupo, sendo escolhidos por serem comumente utilizados na execução de concretos estruturais, e facilmente adquiridos na região onde foi realizada a pesquisa. Relativamente aos mesmos, pode-se salientar: foi empregado, como aglomerante, um cimento Portland CPIV-32 RS fabricado pela Votorantin Cimentos. Como agregado miúdo foi empregada uma areia natural com módulo de finura 2,45, procedente de depósitos aluviais do Rio Tocantins, em Palmas - TO. O agregado graúdo foi uma pedra britada de base granítica, com dimensão máxima característica 19mm.

## 4.2 Resistência à Compressão E Dureza Superficial

Após os ciclos de exposição, as séries tiveram a resistência à compressão e a dureza superficial através do esclerômetro de reflexão mensuradas, à exceção da série submetida à temperatura de exposição de 800°C, a qual não teve a dureza superficial determinada devido à extensa fissuração superficial apresentada, que refletia em sua menor rigidez e resistência. A figura 7 ilustra graficamente a evolução da resistência à compressão e da dureza superficial com o aumento da temperatura de exposição. A redução da resistência à compressão e da dureza superficial com a temperatura, relativamente aos resultados apresentados pela série de referência, podem ser observados na Figura 8. A Figura 9 ilustra a diferença encontrada entre a resistência à compressão e a dureza superficial do concreto, tendo-se a primeira como referência.

Constatou-se que a exposição à temperatura de 400°C, quando posteriormente submetido a resfriamento lento, não acarretou na diminuição de resistência, como já observado em pesquisas anteriores, com o concreto submetido ao resfriamento rápido. Para as temperaturas de 550°C e 800°C, como esperado, observou-se uma redução da resistência à compressão com a temperatura de exposição.

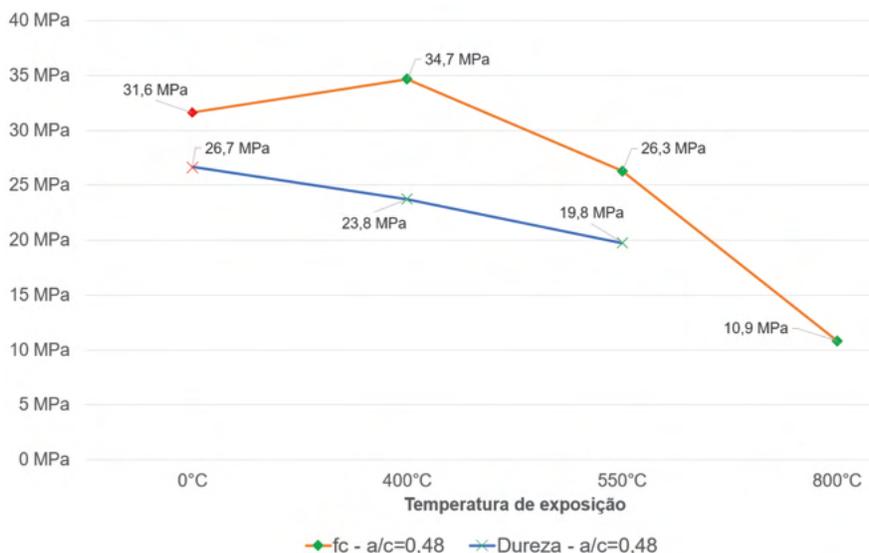


Figura 7 – Resistência à compressão e dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão com a temperatura de exposição

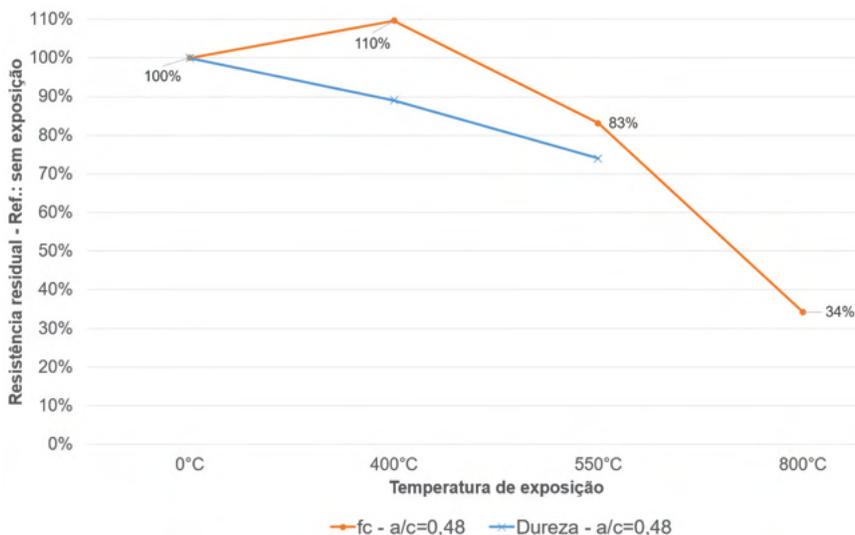


Figura 8 – Redução da resistência do concreto à compressão e da dureza superficial com a temperatura de exposição

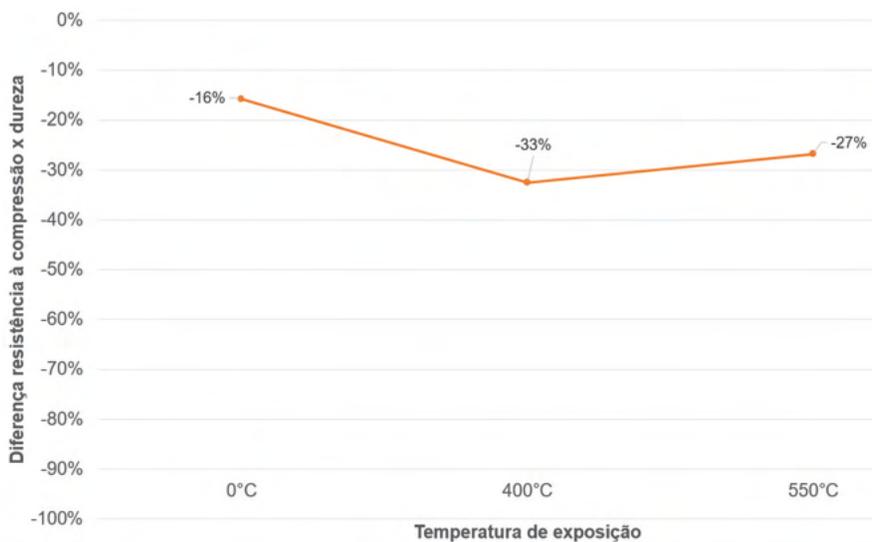


Figura 9 – Diferença entre a resistência à compressão e a dureza superficial do concreto pelo esclerômetro de reflexão, com a temperatura de exposição

Assim como nas pesquisas anteriormente desenvolvidas pelo grupo, em concretos submetidos ao resfriamento rápido após a exposição às condições análogas às de incêndio, foram observadas grandes diferenças entre os resultados apresentados nos ensaios de resistência à compressão e dureza superficial, as quais se acentuaram com o aumento da temperatura de exposição. Salienta-se que a curva de correlação empregada (10% *lower*)

apresentou resultados consideravelmente mais próximos da resistência à compressão que a curva padrão (*standard*), em todas as temperaturas mensuradas. A variabilidade dos resultados de esclerometria, entretanto, diminuiu com o aumento da temperatura de exposição, como pode ser observado na Figura 10, comportamento oposto ao constatado nas pesquisas anteriormente desenvolvidas pelo grupo.

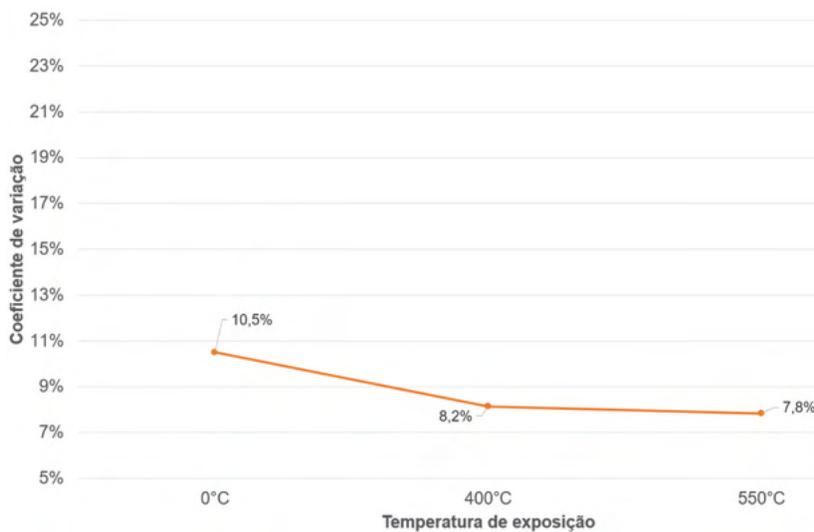


Figura 10 – Variação do coeficiente de variação da dureza superficial do concreto pelo esclerômetro de reflexão com a temperatura de exposição

### 4.3 Abertura das Fissuras

O aumento da abertura das fissuras, com o aumento da temperatura de exposição acompanhou, como esperado, a diminuição da resistência à compressão e da dureza superficial. A Figura 11 ilustra o acompanhamento da abertura das fissuras com as diferentes temperaturas de exposição. Pôde-se constatar uma maior frequência de agregados graúdos fraturados em corpos-de-prova submetidos a temperaturas de exposição de maiores amplitudes, entretanto em quantidade inferior à apresentada em estudos onde o concreto foi submetido ao resfriamento rápido.

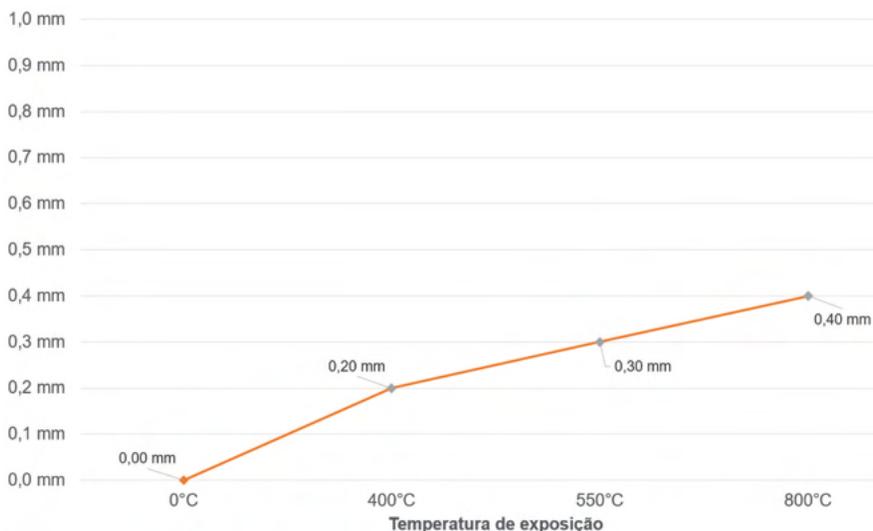


Figura 11 – Variação da abertura de fissuras do concreto com a temperatura de exposição

#### 4.4 Diagrama Tensão X Deformação Específica

A deformabilidade do concreto foi avaliada conforme as recomendações da NBR 8522(2003) após os mesmos serem submetidos às temperaturas de controle. Como esperado, foi constatada uma diminuição do Módulo de Young com o aumento da temperatura de exposição. A Figura 12 ilustra o diagrama tensão x deformação específica, em cada temperatura de exposição.

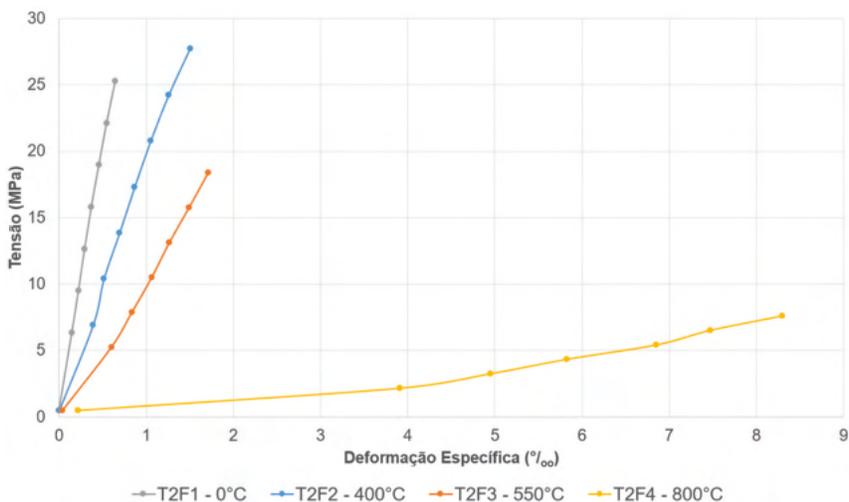


Figura 12 – Diagrama tensão x deformação específica do concreto com a temperatura de exposição

A partir dos diagramas traçados, foram calculados os Módulos de Elasticidade Secantes, representados pela inclinação da reta que intercepta os pontos de 0,5MPa e 40% da tensão de carga de ruptura de cada corpo-de-prova, conforme recomendado pela NBR 8522(2003), e já utilizado em estudos anteriores. A Figura 13 ilustra graficamente o resultado do Módulo Secante para a série em estudo em cada temperatura de exposição e a Figura 14, a redução do mesmo com a temperatura, relativamente aos resultados apresentados pela série de referência. Como observado, a redução do Módulo de Elasticidade é consideravelmente superior à da resistência à compressão, independentemente da série e temperatura de exposição analisadas.

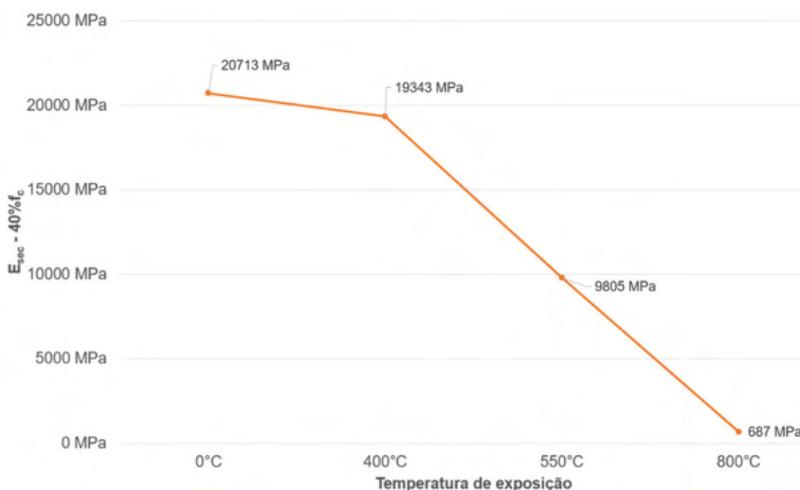


Figura 13 – Variação do módulo de elasticidade secante (40% de  $f_c$ ) com a temperatura de exposição

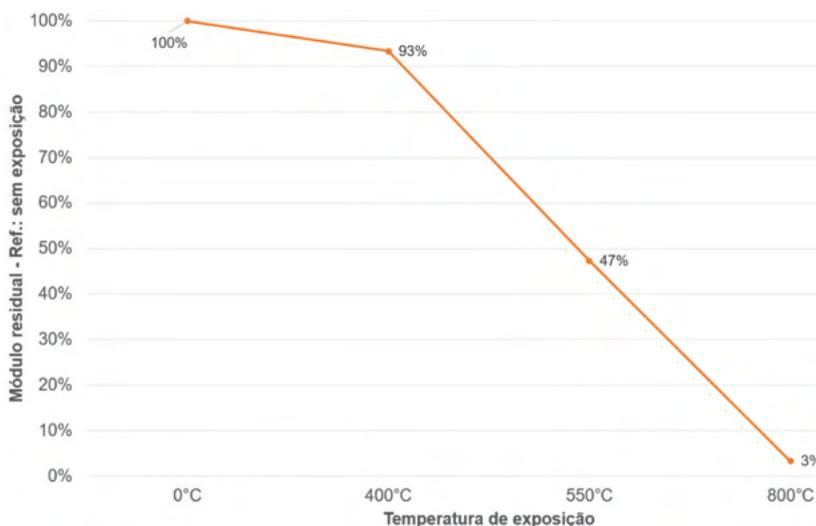


Figura 14 – Redução do módulo de elasticidade secante (40% de  $f_c$ ) com a temperatura de exposição

## 5 | CONCLUSÕES

Apesar de amplamente empregado como estimativa inicial da confiabilidade estrutural após a ocorrência de sinistros de incêndio, a análise conjunta dos resultados encontrados nos ensaios de resistência à compressão e determinação da dureza superficial do concreto através do esclerômetro de reflexão, desaconselham uma vez mais, o emprego do esclerômetro uma vez que, com o aumento da temperatura de exposição, verificou-se uma maior diferença entre o resultado efetivo da resistência à compressão e a dureza superficial, apesar da redução do coeficiente de variação dos resultados da esclerometria, traduzido pelo comportamento consideravelmente mais regular que o observado nos estudos anteriores, com séries submetidas ao resfriamento rápido após à exposição a situações análogas às de incêndios. Como estudado por NINCE (2006), pode-se buscar explicar esse comportamento, em menores temperaturas, pela carbonatação superficial do concreto e, em temperaturas mais elevadas, pela influência da densidade da rede de poros no efeito *spalling*. Salienta-se uma vez mais que, na maior temperatura acompanhada (800°C), a extensão da fissuração impediu a determinação da dureza superficial do concreto, pela desagregação do mesmo quando da tentativa de realização do procedimento.

O efeito da fissuração nos corpos de prova foi consideravelmente reduzido, em cada temperatura de exposição, quando comparado aos estudos anteriormente realizados, como amostras submetidas ao resfriamento rápido. Esse novo padrão de fissuração acarretou também em uma menor redução do Módulo de Young. Como já apontado por WENDT(2006), bem como pelos estudos anteriormente desenvolvidos por esse grupo de pesquisa, quando da inspeção de estruturas submetidas a sinistros de incêndio, torna-se imperativo a avaliação conjunta da resistência à compressão e do módulo de Young, uma vez que a rigidez do concreto apresenta uma redução consideravelmente superior à da resistência à compressão, para uma mesma temperatura de exposição, fenômeno mais uma vez relacionado à densidade da rede de poros no efeito *spalling*. Este diagnóstico conjunto torna-se imprescindível na recuperação da confiabilidade estrutural após sinistros de incêndio.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2003.

GEORGALI, B.; TSAKIRIDIS, P. E. **Microstructure of fire-damaged concrete. A case study**. Cement and Concrete Composites, 2004.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

PIASTA, J. **Heat deformations of cement paste phases and the microstructure of cement paste.** Materials and Structures (Matériaux at constructions), v. 17, n. 102, p. 415-420, nov.-dec. 1984. RILEM – The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures. Paris, França, 1984.

WENDT, Sheila Cristina. **Análise da mudança de cor em concretos submetidos a altas temperaturas como indicativo de temperaturas alcançadas e da degradação térmica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia), 2006. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 186 p.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Altas Temperaturas 78, 79, 87, 88, 90, 91, 102, 173, 174, 175, 180

Análise Estrutural 115, 119, 122, 124, 255

Argamassa 83, 92, 150, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 244, 249, 295, 300

Arquitetura Hospitalar 103, 107, 112

Avaliação de Desempenho 103, 104, 106, 107, 112, 113

### B

Bim 3, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205

BIM 5D 58, 59, 61, 65

### C

Cimento 67, 71, 73, 79, 80, 84, 90, 91, 92, 94, 95, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 150, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 162, 163, 164, 165, 207, 245, 254, 258, 304

Concreto 1, 2, 5, 12, 46, 57, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 101, 112, 114, 152, 153, 158, 159, 175, 192, 207, 220, 245, 246, 251, 254, 259, 266, 267, 271, 272, 299, 300, 302, 303, 304, 305, 307, 308, 309, 312, 313, 314

Concreto Armado 1, 2, 5, 46, 67, 68, 69, 70, 71, 75, 76, 78, 80, 82, 83, 88, 245, 246, 254, 266, 267, 271, 272, 302, 303, 304, 307, 308, 312, 313

Contenções 160, 172, 253, 255, 265

Corrosão das armaduras 67, 68, 69, 72, 75, 80, 82

### D

Decreto 58, 60, 61, 65, 66, 290, 299

Deep Beams 183, 193, 194

Degradação 48, 76, 80, 87, 90, 91, 92, 102, 105, 177, 289, 294, 295, 297, 300, 337

Disseminação 58, 60, 61, 66

Durabilidade 52, 56, 69, 75, 76, 78, 80, 88, 108, 113, 126, 173, 174, 175, 181, 207, 297, 298

### E

Elementos de barra biarticulados 29, 44, 317

Ementa 58, 60, 62

Empreendimentos Rurais 46, 47, 49, 55, 56

Engenharia Civil 3, 1, 12, 28, 48, 58, 60, 62, 63, 88, 90, 113, 115, 116, 117, 125, 134, 135, 150, 172, 195, 220, 265, 266, 291, 292, 303, 304, 316, 338

Engenharia Diagnóstica 78, 80

## **F**

Fundações Superficiais 1, 2, 3, 4, 12, 265

## **G**

Gnaisse 173, 174, 175, 176, 179, 180

Grelhas Hiperestáticas 13, 14, 26

## **H**

Hastes de Paredes Delgadas 14, 27

Hospital Architecture 103

## **I**

Incêndio 51, 78, 79, 80, 83, 84, 85, 87, 90, 92, 97, 101, 108, 110, 111, 112, 175

Inspeção Predial 46, 47, 48, 49, 52, 55, 56, 57, 103, 109

Interação Solo-Estrutura 3, 1, 2, 3, 5, 11, 12, 254, 255, 265

Íons Sulfatos 67, 69, 72, 73, 75

## **L**

Látex da seringueira 150, 151, 157

## **M**

Máquinas de ar condicionado 195, 196, 198, 199, 201, 202, 203

Mecânica Vetorial 115, 116, 117, 118, 119

Metodologia Empírico-Mecanística 125, 134

Microzonificación, Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo 136

Modelagem 6D 195

Módulo de Resiliência 125, 126, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135

## **P**

Patologias 47, 48, 56, 57, 76, 115, 291, 296, 298, 300

Pavimentação 125, 129, 134, 135, 239

Performance Evaluation 103

## **R**

Recalque 1, 3, 4, 263

## **S**

SAP2000 1, 2, 3, 5

SFRC 183, 193

Shear Strength 183, 193

Solo-Cimento 125, 126, 128, 131, 133, 134, 135

## **T**

Tensão de bimomento 13, 24, 26

Tensão de flexão 13, 26, 27

Tratamento Térmico 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181

Treliça 28, 29, 40, 116, 119, 120, 316, 317, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 330, 331

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA CIVIL 3

- 
-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
  -  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
  -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
  -  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA CIVIL 3

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)