



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

2

Atena
Editora

Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

2

Atena
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Camila Alves de Cremo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco

Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
A642	<p>A aplicação do conhecimento científico na engenharia civil 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-170-1 DOI 10.22533/at.ed.701200907</p> <p>1. Engenharia civil – Pesquisa – Brasil. 2. Construção civil. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga.</p> <p style="text-align: right;">CDD 338.4769</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil 2” contempla vinte e três capítulos com pesquisas relacionadas a temas da engenharia civil.

O desenvolvimento de novos materiais e a utilização de novas tecnologias na sua composição permitem um grande avanço na área, gerando alternativas de execução e muitas vezes evitando patologias nas edificações.

O estudo sobre o comportamento de materiais utilizados na construção civil permite o aperfeiçoamento de sistemas construtivos já existentes e proporciona uma otimização na execução de projetos.

O livro aborda também artigos que avaliam desempenho de solos, seu comportamento junto a estruturas de edificações e obras de pavimentação.

Esperamos que esta obra proporcione uma leitura agradável e contribua para a geração de novas pesquisas na área da engenharia civil, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico.

Franciele Braga Machado Tullio

Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ADERÊNCIA DO CHAPISCO COM ADIÇÃO DE CAL	
André Miranda dos Santos Ângelo Just da Costa e Silva João Manoel de Freitas Mota	
DOI 10.22533/at.ed.7012009071	
CAPÍTULO 2	13
AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO CAPILAR EM ARGAMASSAS ESTABILIZADAS DE REVESTIMENTOS SUBSTITUINDO AGREGADOS NATURAIS POR AGREGADOS ARTIFICIAIS	
Valéria Costa de Oliveira Emílio Gabriel Freire dos Santos Leandro de Souza Carvalho Rafael Alves de Oliveira Fernanda dos Santos Gentil Ieda Maria Fagundes Zanolla	
DOI 10.22533/at.ed.7012009072	
CAPÍTULO 3	30
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PIGMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO DE CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO	
Amanda Vieira Noletto Dalmo Gabriel da Silva Santana Beatriz Santos Neri Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira Salmo Moreira Sidel	
DOI 10.22533/at.ed.7012009073	
CAPÍTULO 4	38
AVALIAÇÃO DO ATAQUE DE ÍONS CLORETO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, CONTENDO OU NÃO ADIÇÕES MINERAIS	
Rayssa Valéria da Silva Fuad Carlos Zarzar Júnior José Wertson Gonçalo Pereira Gênova Gabriela Oliveira de Paula Rocha Leonardo José Silva do Vale João Gabriel Souza dos Reis Igor Albuquerque da Rosa Teixeira Pedro Daltro Macedo de Alencar José Flávio Batista Vilela Carlos Fernando Gomes do Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.7012009074	
CAPÍTULO 5	51
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA ADIÇÃO DE METACAULIM NO CONCRETO FRENTE À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO	
Jefferson Thales Siqueira Gomes Emerson José da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7012009075	

CAPÍTULO 6	68
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE CELULOSE: UMA REVISÃO	
Marllon Victor Soares Cabral	
Humberto Mycael Mota Santos	
DOI 10.22533/at.ed.7012009076	
CAPÍTULO 7	81
EFEITO DA SÍLICA ATIVA EM SUSPENSÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO	
Albert Luiz Follmann	
Bruno Teles Cordeiro	
Fernando Pelisser	
Artur Spat Ruviano	
DOI 10.22533/at.ed.7012009077	
CAPÍTULO 8	95
ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE UM CONCRETO COM 20MPA NO ESTADO FRESCO, MISTURADO À MÃO E NA BETONEIRA, COM E SEM A SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA BRITADA	
Gabriel Rigaud Figueirôa Lyra	
Anderson José Silva	
André Vinícius Melo Couto	
André William Barbosa Brito	
Sócrates Ildelfonso Farias da Silva	
Simone Perruci Galvão	
DOI 10.22533/at.ed.7012009078	
CAPÍTULO 9	105
INFLUÊNCIA DO PROCEDIMENTO DE MISTURA DOS ADITIVOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS	
Juliana Pippi Antoniazzi	
Luciano Vargas Vaz	
Gihad Mohamad	
Raquel Petry Brondani Schmidt	
Bernardete Trindade	
DOI 10.22533/at.ed.7012009079	
CAPÍTULO 10	114
VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE DETERGENTE DOMÉSTICO COMO ADITIVO PLASTIFICANTE EM ARGAMASSA CIMENTÍCEA	
Jessica Maria de Oliveira Galeno	
Ataídes Oliveira Galvão Junior	
Marcos Vinícios Aguiar Mohana	
Mylena Veras Cavalcante	
DOI 10.22533/at.ed.70120090710	
CAPÍTULO 11	128
AVALIAÇÃO DO ATRITO DE INTERFACE ENTRE BLOCOS DE EPS E DIFERENTE SOLOS E GEOSSINTÉTICOS ATRAVÉS DO CISALHAMENTO DIRETO	
Arthur Ivo Zuquim	
DOI 10.22533/at.ed.70120090711	

CAPÍTULO 12	143
CONTRIBUIÇÃO DA RIGIDEZ TORSIONAL DE VIGAS NO CÁLCULO DE MOMENTOS FLETORES EM LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO	
Jonas Pereira Falcão Francisco dos Santos Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.70120090712	
CAPÍTULO 13	159
DETERMINAÇÃO DA RIGIDEZ EXPERIMENTAL DE VIGOTA TRELIÇADA OBJETIVANDO O DIMENSIONAMENTO DE ESCORAS DE LAJES	
Rebeca Alexandra de Moraes Candido Tiago Duarte de Lima Adão Marques Batista	
DOI 10.22533/at.ed.70120090713	
CAPÍTULO 14	170
EFEITOS DA TEMPERATURA NAS DEFORMAÇÕES POR FLUÊNCIA DO CONCRETO	
Edmilson Lira Madureira Brenda Vieira Costa Fontes Juliana Caroline Neves de Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.70120090714	
CAPÍTULO 15	186
ESTABILIDADE ELÁSTICA EM PILARES METÁLICOS SUBMETIDOS À ATUAÇÃO CONJUNTA DO CARREGAMENTO VERTICAL E DO VENTO	
Wesley Imperiano Gomes de Melo Normando Perazzo Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.70120090715	
CAPÍTULO 16	205
INFLUÊNCIA DO GRAUTE NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS	
Rafael Azevedo Lino Orieta Soto Izquierdo Indara Soto Izquierdo Márcio Roberto Silva Corrêa	
DOI 10.22533/at.ed.70120090716	
CAPÍTULO 17	222
INSPEÇÃO PRELIMINAR E MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA	
Matheus Nunes Reis Jorge Antonio da Cunha Oliveira Jocinez Nogueira Lima	
DOI 10.22533/at.ed.70120090717	
CAPÍTULO 18	237
O CÁLCULO CORRETO DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO	
Antonio Oscar Cavalcanti da Fonte Felipe Luna Freire da Fonte Ennes do Rio Abreu	
DOI 10.22533/at.ed.70120090718	

CAPÍTULO 19	251
REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM PRF: UM ESTUDO DE CASO	
Elisson Bilheiro Ferreira Filho	
Ruan Richelly Santos	
Letícia Ikeda Castrillon Fernandez	
Diôgo Silva de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.70120090719	
CAPÍTULO 20	270
CAPACIDADE DE ANCORAGEM DE CONECTORES COM CABEÇA EM CONEXÕES VIGA-PILAR DE CONCRETO ARMADO	
Nataniel Wontoon Barbosa Lima	
Ana Paula Bona Barros Medeiros	
Guilherme Oití Berbert-Born	
João Gabriel Pacheco Monteiro	
Marcos Honorato de Oliveira	
Maurício Ferreira de Pina	
DOI 10.22533/at.ed.70120090720	
CAPÍTULO 21	285
ESTUDO DA DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL REFORÇADO COM FIBRAS ADOTANDO O MÉTODO DO EMPACOTAMENTO COMPRESSÍVEL (MEC)	
Matheus Galvão Cardoso	
Rodrigo de Melo Lameiras	
DOI 10.22533/at.ed.70120090721	
CAPÍTULO 22	301
IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS	
Tauhana Eineck	
Diogo Rodrigues	
Patrícia Dalla Lana Michel	
DOI 10.22533/at.ed.70120090722	
CAPÍTULO 23	305
UMA ABORDAGEM SOBRE A CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS LATERÍTICOS APLICADOS À PAVIMENTAÇÃO	
Lettycia Pinheiro da Silva	
Lázaro Fernandes Pereira	
Beatriz Almeida Nascimento	
Lívia Ramos Lima	
Roseli Oliveira Guedes Martins	
DOI 10.22533/at.ed.70120090723	
SOBRE OS ORGANIZADORES	307
ÍNDICE REMISSIVO	308

EFEITOS DA TEMPERATURA NAS DEFORMAÇÕES POR FLUÊNCIA DO CONCRETO

Data de aceite: 01/06/2020

Data de Submissão: 02/04/2020

Edmilson Lira Madureira

UFRN – Departamento de Engenharia Civil
Natal – Rio Grande do Norte Natal
<http://lattes.cnpq.br/0666185389012179>

Brenda Vieira Costa Fontes

Universidade de Brasília – Pós-Graduação em
Engenharia Civil
Brasília – Distrito Federal
<http://lattes.cnpq.br/1053025408326407>

Juliana Caroline Neves de Araújo

UFRN – Pós-Graduação em Engenharia Civil
Natal – Rio Grande do Norte Natal
<http://lattes.cnpq.br/3908115623446310>

RESUMO: Membros de concreto mantidos sob tensão apresentam contração progressiva com o tempo, associada à Fluência. Tais deformações podem evoluir por até cinco anos, embora na fase avançada desenvolvam-se mediante taxas menores. Em vigas de concreto armado, as deformações por fluência promovem o alívio de tensões de compressão na massa de concreto e o acréscimo de tensões nas barras de aço, podendo induzi-las ao escoamento. As formulações pioneiras

do efeito de fluência, desenvolvidas com base no conceito do coeficiente de fluência, são aplicáveis, sobretudo, quando as tensões se mantêm constantes. Sua aplicação a membros de concreto armado, que apresentam variações de tensões no decorrer da manifestação do fenômeno estudado, requer simplificações das quais resultam os modelos de memória, que têm a desvantagem de exigir o armazenamento do histórico de tensões. Os modelos de estado dispensam tal robustez de armazenamento, sendo desenvolvidos a partir de modificação do esquema de integração. O objetivo deste trabalho é a simulação numérica do desempenho mecânico de vigas de concreto armado, em face das deformações por fluência, realizada com base em modelo de estado com os valores dos parâmetros pertinentes fixados conforme recomendações da NBR 6118/2014, atentando-se, sobretudo, para o efeito da temperatura. Os resultados obtidos mostram que a temperatura acelera o processo deformacional associado à Fluência, antecipando o patamar final das tensões nas barras da armadura.

PALAVRA-CHAVE: Fluência; Concreto Armado; Vigas; Simulação

ABSTRACT: A concrete member, kept under sustained loading, presents progressive

contraction over time, associated to creep. Such kind of deformations can develop for a period longer than five years, although in your advanced stage, evolve under smallest rates. In reinforced concrete Beams, the creep strains cause the mass of concrete compressive stresses decrease and reinforcement steel bars stresses increase and may induce these later to yielding. The pioneering formulations describing the phenomenon, developed on the base of creep coefficient concept are applicable, especially, when the magnitude of the stresses remains constant. Its application to reinforced concrete members, which exhibits change in the stress magnitude over manifestation course of the studied phenomenon, requires simplifications of which result the memory models, which have the disadvantage of requiring the storage of the stress history. The state models provide such robustness of storage, that's why, they are developed from the integrating scheme changing. The aim of this work is the numerical simulation of the mechanical performance of reinforced concrete beams considering the creep, carried out on the base of a state model, fixing the values of its relevant parameters from NBR 6118/2014 proceedings, paying attention, over all, to the temperature effects. The obtained results show that the temperature accelerates the deformational process associated to creep anticipating the asymptotic level of the stresses in the reinforcement steel bars.

KEYWORDS: Creep; Reinforced Concrete; Beams; Simulation.

1 | INTRODUÇÃO

As tensões na massa sólida de concreto solicitando-as, permanentemente, promovem deformações progressivas, adicionais àqueles referentes à resposta imediata ao carregamento, caracterizando o fenômeno conhecido por fluência.

Tais deformações estão associadas, sobretudo, ao comportamento da camada de água adsorvida à superfície dos grãos de cimento no concreto endurecido, de natureza, essencialmente, viscosa, frente às tensões de serviço.

Seus efeitos são mais acentuados, nos primeiros anos da vida útil da estrutura, quando as deformações associadas apresentam taxas mais elevadas, podendo delongar-se até suas fases mais avançadas quando evoluem mediante taxas discretas.

As deformações por Fluência podem assumir magnitude de até três vezes a deformação imediata ao carregamento resultando deslocamentos estruturais de similar grandeza.

Dentre os fatores que interferem no material influenciando a deformação lenta tem-se a umidade ambiental, a temperatura, a consistência do concreto fresco e a resistência do concreto endurecido. A proporção dos agregados graúdos, a taxa de armadura, e as dimensões do elemento estrutural, por sua vez, afetam a deformação global do sólido.

As deformações por fluência modificam os campos de tensões e a configuração de equilíbrio em membros estruturais de concreto armado, de modo que, sua desconsideração,

constitui fonte de dissonância entre o projeto estrutural e a realidade.

Em vigas, tais deformações promovem a redução das tensões na massa de concreto e sua elevação nas barras de aço, podendo induzir estas últimas ao escoamento.

As formulações pioneiras para a modelagem da deformação lenta baseiam-se no conceito do coeficiente de fluência. São aplicáveis a elementos para os quais as tensões solicitantes mantêm-se constantes. Dos artifícios voltados para a sua adequação a elementos que apresentam variações de tensões no decorrer do fenômeno resultam os modelos de memória que exigem o armazenamento do histórico de tensões, e, portanto, volume de armazenamento excessivo, a ponto de inviabilizá-lo.

Com vistas a racionalizar a utilização de espaço de memória de armazenamento, foram desenvolvidos, a partir da modificação do esquema de integração, os modelos de estado, que preveem em sua pauta algorítmica, exclusivamente, a consideração dos valores das tensões referentes ao instante de tempo anterior ao considerado.

O objetivo deste trabalho é a análise do desempenho de Vigas de concreto face às deformações por fluência, em estado plano de tensões, com base na aproximação por elementos finitos sobre um modelo de estado, com os parâmetros da NBR 6118/2014, atentando-se, sobretudo, para o efeito da temperatura.

2 | FORMULAÇÃO

A simulação numérica foi realizada segundo procedimento iterativo incremental e aproximação por elementos finitos. A modelagem matemática adotada pautou-se na formulação ortotrópica não-linear, KWAK e FILIPPOU (1990), segundo a qual os elementos da matriz constitutiva a utilizar são definidos com base em equações semelhantes àsquelas empregadas em solitação uniaxial, tomando-se, porém, como referência, as deformações equivalentes, definidas matematicamente conforme a equação 1.

$$\varepsilon_{ei} = \varepsilon_i + D_{ij} \varepsilon_j / D_{ii} \quad (1)$$

Os índices “i” e “j”, $i, j = 1, 2$, referem-se às direções principais. Os parâmetros “ D_{ij} ” representam os elementos das matrizes constitutivas. Para o concreto em compressão adotaram-se as relações constitutivas de HOGNESTAD (1951):

$$\sigma_i = \frac{2 \cdot \sigma_{ip}}{\varepsilon_{ip}} \left(1 - \frac{\varepsilon_{ei}}{2 \cdot \varepsilon_{ip}} \right) \cdot \varepsilon_{ei} \quad \text{para } \varepsilon_{ip} < \varepsilon_{ei} < 0; \text{ e} \quad (2)$$

$$\sigma_i = \sigma_{ip} \left(1 - \frac{3}{20} \frac{\varepsilon_{ei} - \varepsilon_{ip}}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{ip}} \right) \quad \text{para } \varepsilon_{cu} < \varepsilon_{ei} < \varepsilon_{ip}.$$

onde “ ϵ_{ip} ” e “ σ_{ip} ” representam a deformação e a tensão de pico do concreto, segundo cada direção principal “i”, e, “ ϵ_{cu} ” sua deformação limite de ruptura em compressão uniaxial.

Para os elementos em tração foi adotado modelo das fissuras distribuídas, cujas vantagens são permitir considerar-se a continuidade do campo de deslocamentos, e, dispensar modificações de caráter topológico na malha de elementos finitos, no decorrer de seus procedimentos de cálculo. Para deformações inferiores àquela correspondente à sua resistência à tração uniaxial, o concreto é considerado linear elástico, e, para deformações superiores, é plástico com amolecimento. A deformação última em tração, “ ϵ_o ”, é dada segundo KWAK e FILIPPOU (1990), mediante:

$$\epsilon_o = \frac{2.G_f \cdot \ln(3/b)}{f_t \cdot (3-b)} \quad (3)$$

O parâmetro “b” representa a dimensão, em polegadas, do elemento finito. “ f_t ” e “ G_f ” representam, respectivamente, a resistência à tração uniaxial e a energia de fraturamento do concreto por unidade de área, este último definido conforme os critérios preconizados pelo código **CEB-FIP Model Code 1990**. Adotou-se para o concreto o módulo de deformação reduzido, dado, segundo a **NBR 6118/2014**, a partir de:

$$E_{CS} = 0,85 \times 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (MPa) \quad (4)$$

As tensões limite no concreto são definidas conforme a envoltória de KUPFER e GERSTLE (1973):

$$\beta_1 + \beta_2)^2 - \beta_2 - 3.65\beta_1 = 0 \quad (5)$$

onde $\beta_1 = \sigma_1/f'_c$, $\beta_2 = \sigma_2/f'_c$. “ σ_1 ” e “ σ_2 ” são as tensões principais com $0 > \sigma_1 > \sigma_2$. “ f'_c ” é a resistência à compressão uniaxial do concreto.

As deformações de pico em compressão biaxial são obtidas conforme as expressões:

$$\epsilon_{2p} = \epsilon_{co}(3\beta_2 - 2) \text{ e } \epsilon_{1p} = \epsilon_{co}(-1.6\beta_1^3 + 2.25\beta_1^2 + 0.35\beta_1) \quad (6)$$

onde $\beta_1 = \frac{\sigma_{1p}}{f_c}$, $\beta_2 = \frac{\sigma_{2p}}{f_c}$ e “ ϵ_{co} ” é a deformação correspondente à tensão de compressão de pico para estado uniaxial de tensões.

Para a modelagem do concreto solicitado em estado plano de tensões, é utilizada a relação constitutiva incremental de DESAI e SIRIWARDANCE (1972), escrita mediante:

$$\begin{vmatrix} d\sigma_{11} \\ d\sigma_{22} \\ d\tau_{12} \end{vmatrix} = \frac{1}{1-\nu^2} \begin{vmatrix} E_1 & \nu\sqrt{E_1E_2} & 0 \\ \nu\sqrt{E_1E_2} & E_2 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu^2)G \end{vmatrix} \begin{vmatrix} d\epsilon_{11} \\ d\epsilon_{22} \\ d\gamma_{12} \end{vmatrix} \quad (7)$$

onde os “ E_i ’s” são os módulos de deformação referentes a cada uma das direções principais. A rigidez transversal é expressa segundo a correlação:

$$(1 - \nu^2)G = 0.25(E_1 + E_2 - 2\nu\sqrt{E_1 \cdot E_2}) \quad (8)$$

O comportamento do aço é considerado elástico perfeitamente plástico.

Na análise em pauta foram adotados elementos finitos isoparamétricos de aproximação quadrática. A região da massa de concreto foi discretizada a partir de elementos planos quadriláteros **Q8** e as barras de aço mediante elementos lineares **L3**.

As deformações por fluência foram simuladas a partir do **modelo de estado** proposto por KAWANO e WARNER (1996) sendo dadas por:

$$\varepsilon_c(t) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{cv}(t) \quad (9)$$

onde

$$\varepsilon_{cd}(t) = -\frac{1}{E_o} \int_0^t \frac{d\phi_d(t, \tau)}{d\tau} \sigma(\tau) d\tau \quad \text{e} \quad \varepsilon_{cv}(t) = -\frac{1}{E_o} \int_0^t \frac{d\phi_v(t, \tau)}{d\tau} \sigma(\tau) d\tau \quad (10)$$

são as parcelas de endurecimento e de efeito viscoelástico, respectivamente. As funções $\phi_d(t, \tau)$ e $\phi_v(t, \tau)$ representam os coeficientes de fluência correspondentes. Em suas versões incrementais as equações 10 apresentam-se conforme as equações 11 e 12.

$$\Delta\varepsilon_{cd}(t_n) = \frac{1}{E_o} \sigma(t_{n-1}) \cdot [\phi_d(t_n, t_o) - \phi_d(t_{n-1}, t_o)] \quad (11)$$

$$\Delta\varepsilon_{cv}(t_n) = \left[\frac{\phi_v^*}{E_o} \sigma(t_{n-1}) - \varepsilon_{cv}(t_{n-1}) \right] \cdot [1 - e^{-\Delta t_n / T_v}] \quad (12)$$

com:

$$\phi_d(t, t_o) = \frac{(t - t_o)^{0.6}}{10 + (t - t_o)^{0.6}} \cdot \phi_d^* \quad \text{e} \quad \phi_v(t_n, t_j) = [1 - e^{-(t_n - t_j) / T_v}] \cdot \phi_v^* \quad (13)$$

Sendo " ϕ_d " e " ϕ_v " os coeficientes de fluência finais. " T_v " é o tempo de retardamento. Em cada instante " t_n " as deformações por fluência serão dadas por:

$$\varepsilon_c(t_n) = \varepsilon_c(t_{n-1}) + \Delta\varepsilon_c(t_n) \quad (14)$$

Com

$$\Delta\varepsilon_c(t_n) = \Delta\varepsilon_{cd}(t_n) + \Delta\varepsilon_{cv}(t_n) \quad (15)$$

O efeito da temperatura foi modelado a partir do procedimento da NBR 6118/2014, segundo o qual a idade do concreto em cada data de observação deve ser ajustada resultando a idade fictícia dada mediante:

$$t = \alpha \sum_i \frac{T_i + 10}{30} \Delta t_{ef, i} \quad (16)$$

Onde “ α ” é um coeficiente dependente da velocidade de endurecimento do cimento; T_i é a temperatura média diária do ambiente em graus Celsius; $\Delta t_{ef,i}$ é o período durante o qual a temperatura média diária do ambiente T_i pode ser admitida constante.

Para os efeitos deste trabalho admite-se que as tensões manter-se-ão constantes no decorrer de cada intervalo de tempo de modo que a sua variação a nível global, ao longo de todo o período de observação do fenômeno é expressa por uma função do tipo degrau.

3 | SUPORTE COMPUTACIONAL

Os resultados voltados ao cumprimento dos objetivos deste trabalho foram obtidos através do “software” Análise Constitutiva Não-Linear – ACNL, desenvolvido por Madureira (2007). O programa foi estruturado segundo procedimento iterativo incremental e aproximação por Elementos Finitos, sobre uma Formulação Ortotrópica não Linear. Abrange em sua pauta algorítmica a formulação dos elementos descritos no item 2. As imagens referentes aos campos de deslocamentos foram geradas a partir do aplicativo NLPOS elaborado por PITANGUEIRA e PARENTE JR (1997) enquanto aquelas correspondentes aos campos de tensões foram produzidas a partir do aplicativo PROJECT1 desenvolvido por MADUREIRA e SILVA (2013).

4 | VALIDAÇÃO DO PROGRAMA

Os resultados do programa foram comparados com aqueles obtidos em algoritmo elaborado por MADUREIRA et al (2011), com base nos postulados da Resistência dos Materiais, figura 1, constatando-se boa concordância.

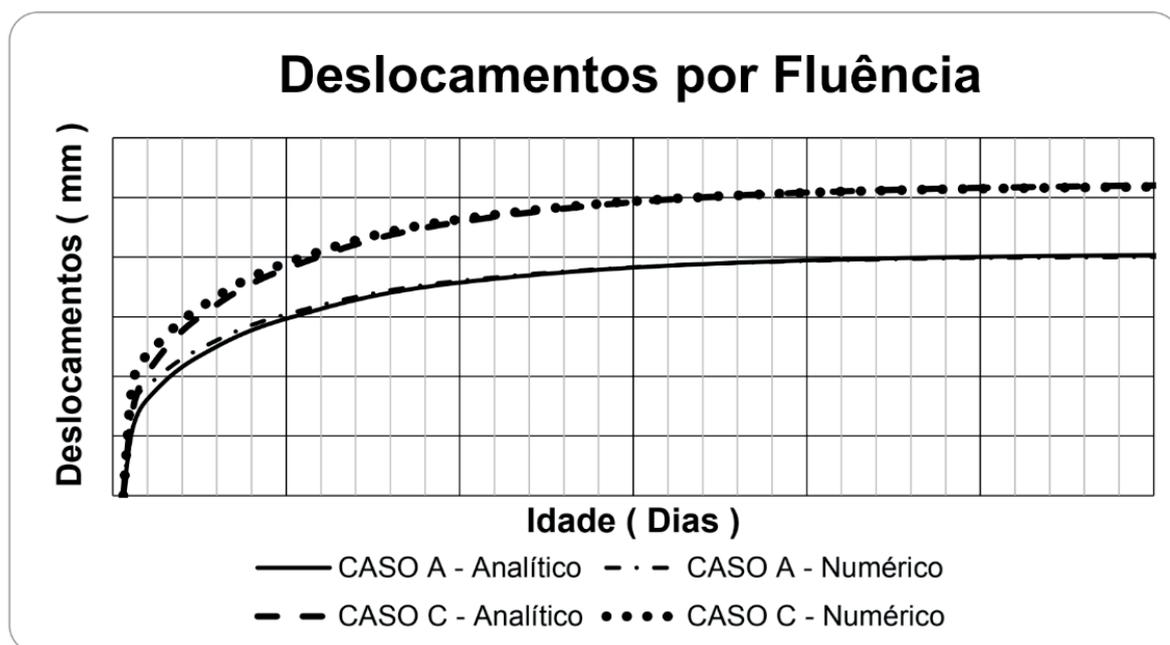


Figura 1 – Curvas dos deslocamentos por fluência com o tempo

5 | MODELOS ANALISADOS

Os modelos objeto de análise são vigas bi apoiadas manufaturadas em concreto **C 30**, armado mediante barras longitudinais de aço **CA 50** com as dimensões e a distribuição das armaduras apresentadas na Figura 2.

A análise foi realizada sobre dez casos diferenciados entre si pelo teor de umidade e pela temperatura, Tabela 1, considerando abatimento do Slump Test na faixa 5 a 9 cm, taxa de armadura de 0,36% e a intensidade do carregamento com magnitude tal a produzir tensões no concreto da ordem de 40% do seu f_{ck} , em atendimento às limitações em termos de tensões, própria do modelo de Fluência da NBR 6118/2014. Tais cargas são distribuídas uniformemente ao longo da extensão longitudinal do bordo superior da viga, Figura 2.

Dada a simetria do problema seu domínio no plano “xy” pôde ser definido conforme apresentado na Figura 2 que, uma vez discretizado adotando-se dimensão igual a 0,10 m para ambos os tipos de elemento, resultou em malha de elementos finitos com 180 elementos planos e 60 elementos unidimensionais.

Para fins da avaliação dos parâmetros pertinentes foram selecionados pontos de referência representativos no meio do vão da viga. Os estudos concernentes à evolução da tensão normal de compressão no concreto, e dos deslocamentos translacionais verticais, referem-se ao ponto das proximidades do bordo superior de coordenadas $x = 0,011$ m e $y = 0,589$ m, enquanto, para a tensão na armadura de aço tomou-se como referência o ponto das proximidades do bordo inferior de coordenadas $x = 0,011$ m e $y = 0,00$ m, Figura 2.

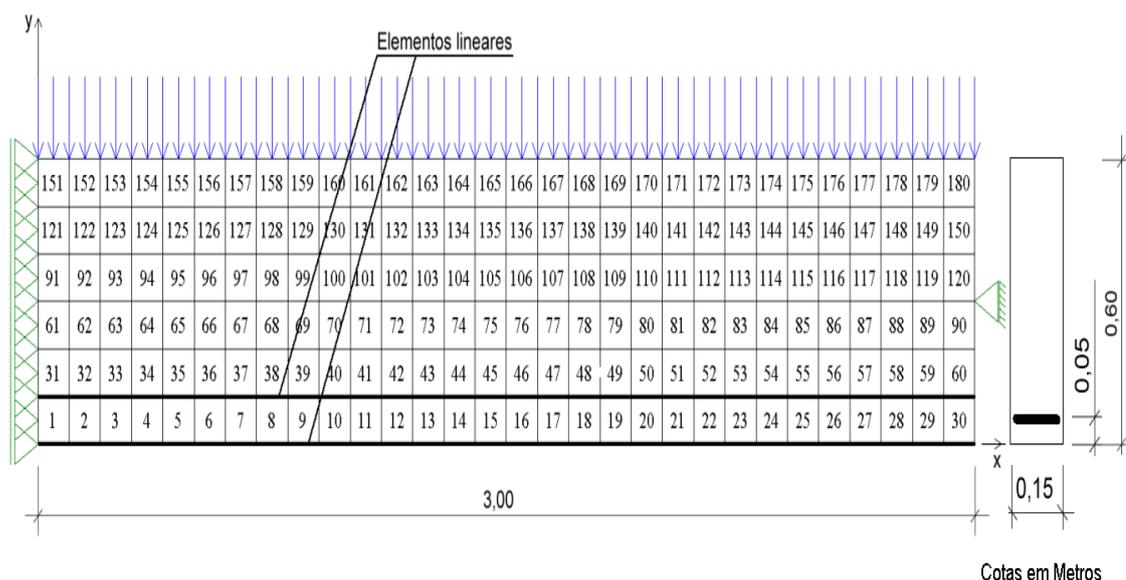


Figura 2 – Domínio do Problema e Malha de Elementos Finitos

Para o coeficiente “ α ” da equação 16 foi fixado valor igual a 1 referente a cimentos Portland de endurecimento lento. Para o tempo de retardamento foi adotado $T_v = 600$ dias,

e para coeficiente final de fluência de endurecimento $\phi_d^* = 2,0$. Os valores do coeficiente final de fluência associado aos efeitos viscoelásticos, “ ϕ_v^* ”, dependem da umidade de modo que é diferente caso a caso, e, por assim o ser, estão indicados na coluna 4 da Tabela 1. A data do carregamento foi fixada como sendo aos 30 dias contados a partir da data do lançamento do concreto.

Casos	Temperatura (°C)	Teor de Umidade (%)	ϕ_v^*
1	20	40	1,63
2	40	40	1,63
3	60	40	1,63
4	80	40	1,63
5	100	40	1,63
6	20	60	0,92
7	40	60	0,92
8	60	60	0,92
9	80	60	0,92
10	100	60	0,92

Tabela 1 – Casos estudados

As curvas do coeficiente de fluência com o tempo, referentes aos resultados obtidos mediante o modelo da NBR 6118/2014 e o modelo de estado empregado apresentam boa concordância, Figura 3, de modo que, os valores dos parâmetros do modelo de estado foram apropriadamente fixados.

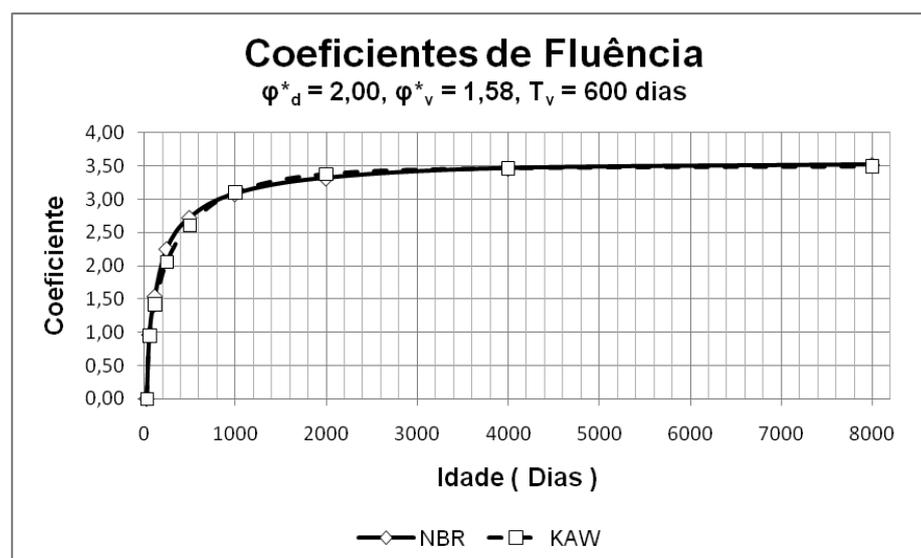


Figura 3 – Coeficiente de fluência com o tempo.

Além do mais, constata-se que, aos 2000 dias de idade do concreto, o processo deformacional associado à Fluência do material, já havia sido estabilizado, Figura 3, de

modo que tal idade foi considerada como limite extremo do prazo de estudo do fenômeno em destaque, adotando-se, para fins de análise, os instantes de observação nas idades do concreto aos 33, 40, 55, 90, 180, 380, 860 e 2000 dias.

6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todos os casos estudados, uma vez atingida a configuração de equilíbrio referente à carga solicitante, os campos de deslocamentos verticais e de tensões normais axiais assumiram os modos indicados nas Figuras 4 e 5, respectivamente. A magnitude do deslocamento vertical e a intensidade da tensão de compressão na massa de concreto, no ponto de referência, foram da ordem de 10 mm e 15 MPa, respectivamente, Tabela 2.

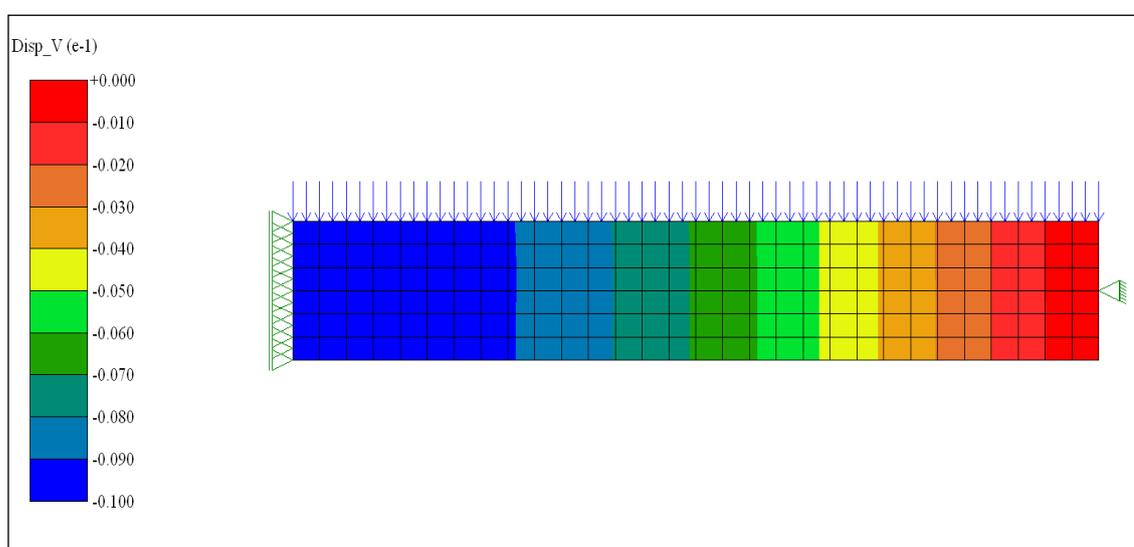


Figura 4 - Campo de deslocamentos verticais no instante do carregamento – Caso 1

O campo de tensões na massa de concreto na direção “x”, Figura 5, apresentou distribuição suave ressaltando-se, porém, a ocorrência de tênue perturbação na região da vizinhança dos apoios.

A partir dos resultados constata-se que o efeito de Fluência do concreto promoveu a evolução dos deslocamentos segundo as curvas da Figura 6, estabilizando-se, praticamente, à idade de 2000 dias. Observa-se que a temperatura não alterou a magnitude final dos deslocamentos por Fluência, apesar de seu efeito acelerador ter antecipado a ocorrência de tal patamar.

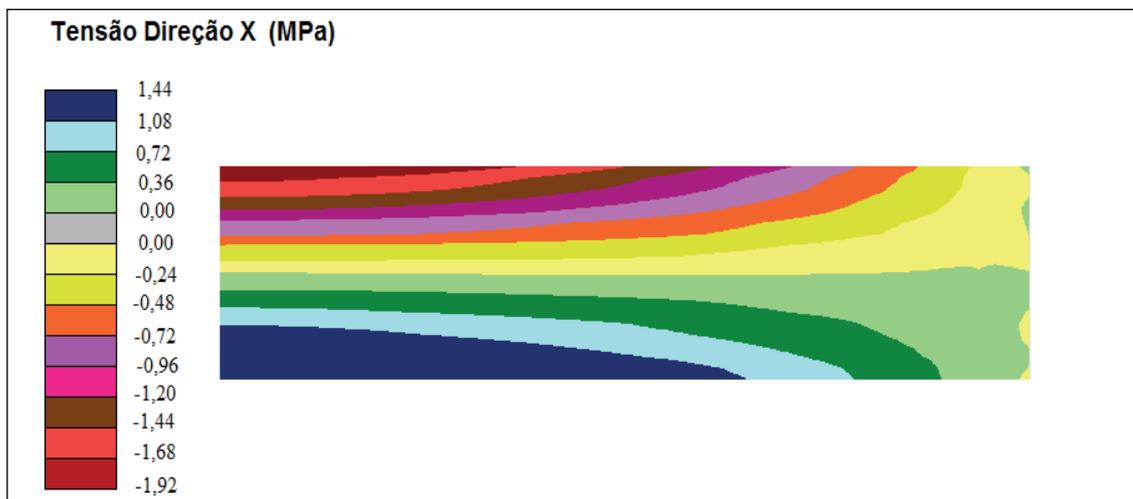


Figura 5 - Campo de tensões normais no instante imediato ao carregamento – Caso 1

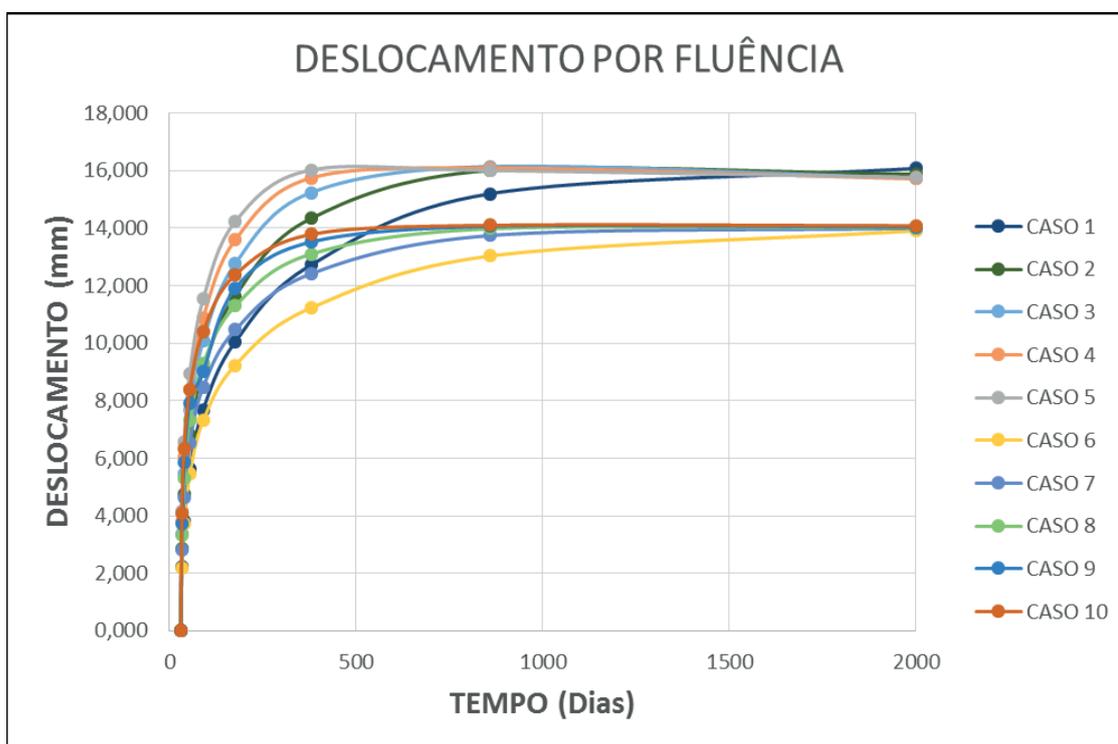


Figura 6 - Curvas de deslocamento por fluência

Para o caso 5, especialmente, referente ao menor teor de umidade e à maior temperatura, os campos de deslocamentos por fluência estabilizaram-se conforme distribuição indicada no campo da Figura 7. Para os demais casos resultaram campos de deslocamentos por fluência similares, diferenciados, porém, pelas respectivas magnitudes, Tabela 2.

O menor acréscimo de deslocamento foi da ordem de 14 mm, correspondendo a 1,4 vezes o deslocamento constatado no instante imediato ao carregamento, tendo sido assinalado para os casos de 6 a 10, Tabela 2, referentes ao maior teor de umidade. O maior deslocamento por fluência foi de 16 mm, que corresponde a 1,6 vezes o deslocamento constatado no instante imediato ao carregamento, Tabela 2, assinalado

para os casos de 1 a 5, referentes ao menor teor de umidade. Constata-se, portanto, que, no caso de vigas, as magnitudes dos deslocamentos por fluência quando comparadas com aquelas verificadas no instante imediato ao carregamento, são bem menores que aquelas reportadas por MADUREIRA e PAIVA (2015), atinentes a pilares parede. Tal resultado é explicado partindo-se do princípio de que as deformações por fluência são tanto maiores quanto maior a intensidade das tensões na massa do concreto, e, enquanto o pilar parede apresenta estado homogêneo de tensões com intensidade de 40% do f_{ck} do concreto, nas vigas tal magnitude varia em sua região comprimida desde este valor até zero, e, na região tracionada, que ocupa extensão mais expressiva da massa de concreto, a intensidade das tensões não chega a 15% do seu f_{ck} .

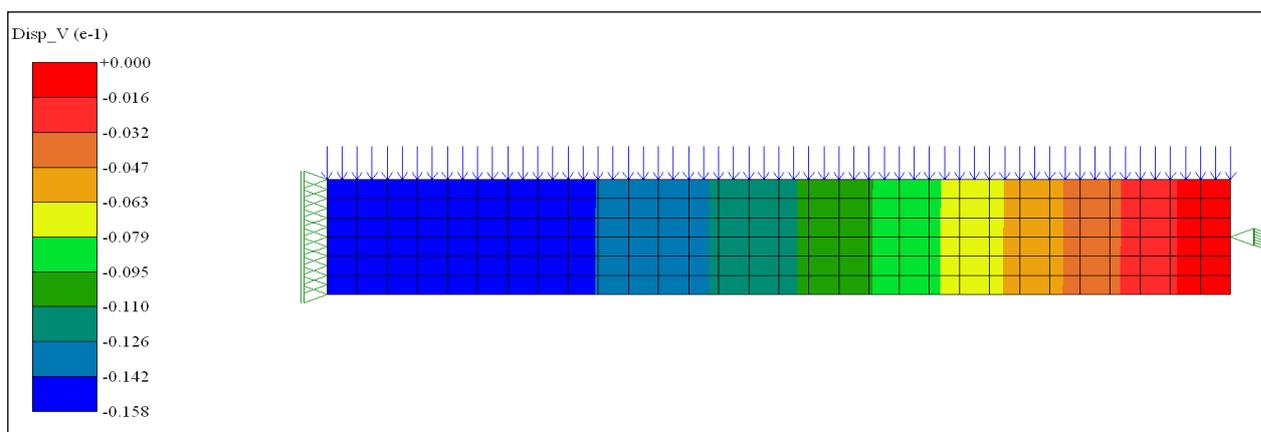


Figura 7 – Campo de deslocamentos longitudinais por fluência aos 2000 dias – Caso 5.

Devido às deformações por fluência, a massa de concreto experimentou alívio de tensões de compressão que, para o ponto de referência correlato, as intensidades evoluíram consoante as curvas da Figura 8. Para os casos de 1 a 5, referentes ao menor teor de umidade os campos de tensões estabilizaram-se conforme distribuição indicada no campo da Figura 9. Para os demais casos resultaram campos de tensões similares, diferenciados, porém, pelas magnitudes apresentadas, Tabela 2. Para os casos de menor teor de umidade, o alívio de tensões foi da ordem de 47% da tensão solicitante no instante imediato ao carregamento, Tabela 2. Para os de maior teor de umidade, tal alívio foi da ordem de 43%, Tabela 2.

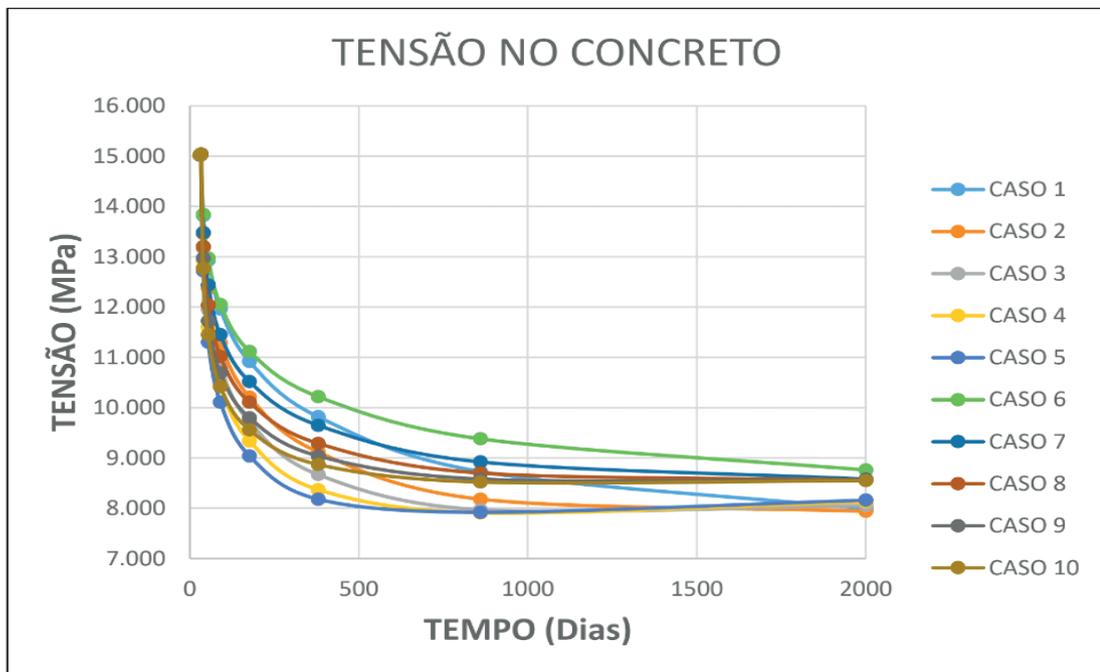


Figura 8 – Evolução das tensões no concreto

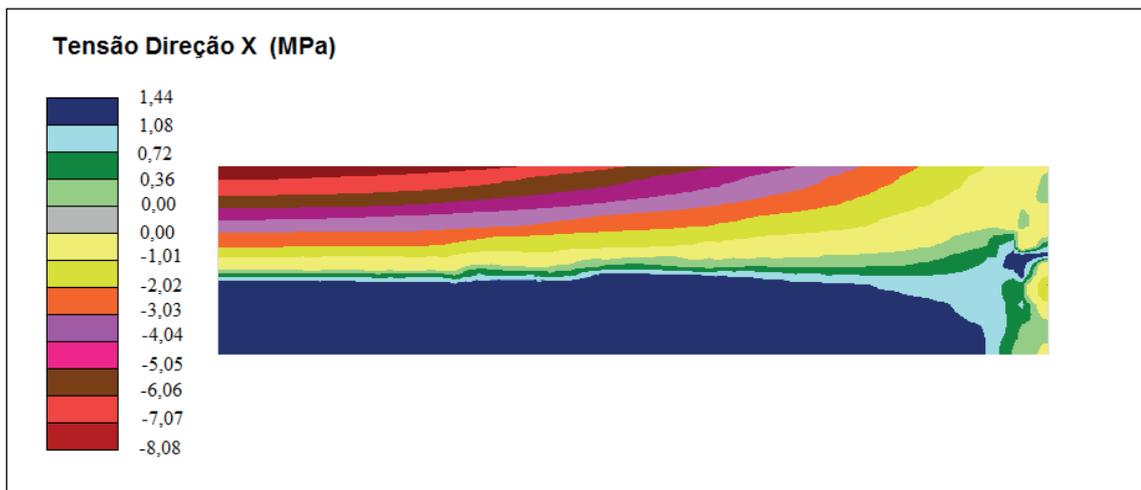


Figura 9 – Campo de tensões normais aos 2000 dias - Caso 3

As tensões nas barras de aço, por sua vez, apresentaram aumento de intensidade e evoluíram conforme as curvas da Figura 10. Para os casos de maior teor de umidade, o acréscimo de tensões foi da ordem de 93% da intensidade registrada no instante imediato ao carregamento, Tabela 2. Para os casos de menor teor de umidade, tal acréscimo foi de 104%. Observe-se que, apesar desse acréscimo vertiginoso das tensões, sua intensidade estabilizou-se em patamar inferior à tensão limite de escoamento característico do material que é de 500 MPa. Entretanto, para os casos 1 a 5, as intensidades de tensões atingiram o patamar de escoamento de projeto do aço, que é de 434 MPa, o que tecnicamente, conforme os critérios da NBR 6118/2014, indicaria probabilidade de ruína.

Examinando as curvas da figura 10 correspondentes aos casos de 1 a 5, que diferem entre si pelo nível térmico, constata-se que em todo o trecho da curva que antecede o patamar de tensões finais, na medida em que a temperatura é maior a tensão nas barras

da armadura de aço também é maior. Além do mais, quanto menor a temperatura tal patamar é atingido mais tardiamente. A mesma tendência pode ser reportada para os casos de 6 a 10. Esta constatação vem a corroborar o efeito da temperatura em acelerar o processo deformacional associado à Fluência do concreto.

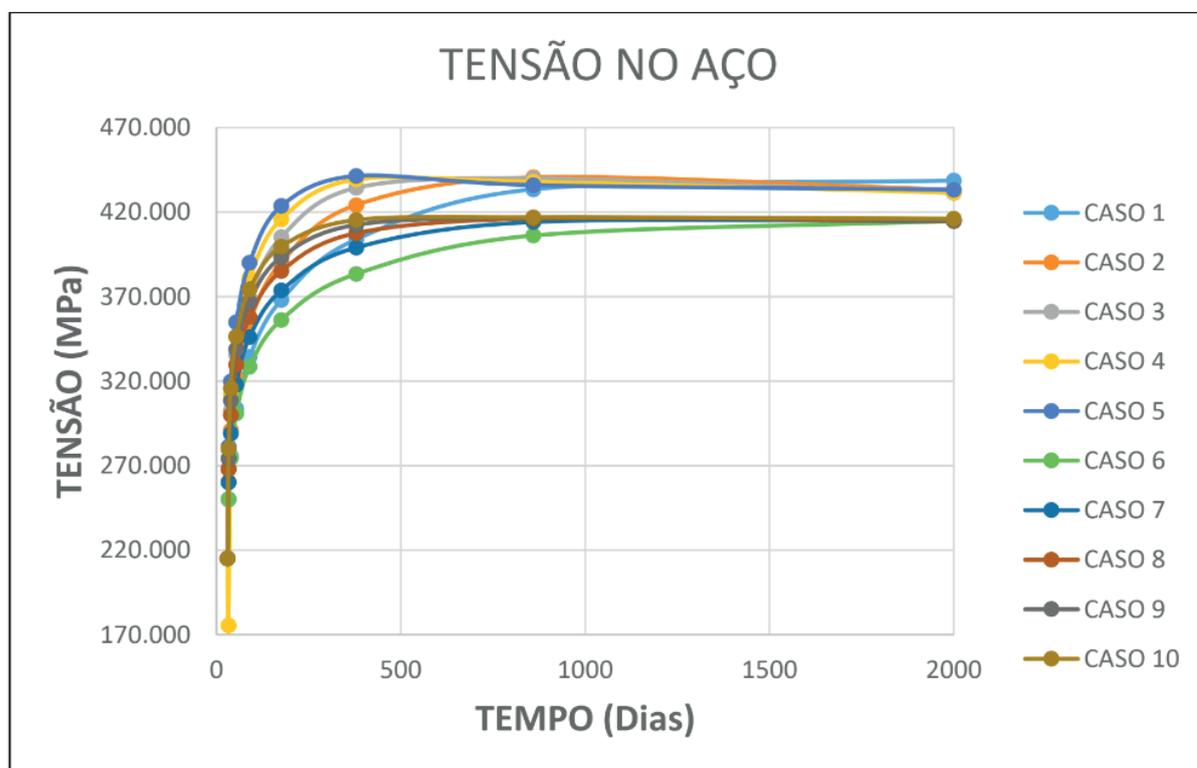


Figura 10 – Evolução das tensões na armadura.

Para explicar do balanceamento de tensões envolvendo a massa de concreto e as barras da armadura de aço acima reportada, entenda-se que, em decorrência da solicitação da viga mediante a carga “q”, Figura 11.a, o membro estrutural experimenta deformações de flexão, de modo que a seção S gira em torno do ponto o, no sentido horário, enquanto a seção S’ gira em torno do ponto o’, no sentido anti-horário, Figura 11.b. Em vista disso os pontos n e n’ localizados na armadura nas proximidades do bordo inferior se afastam mutuamente, caracterizando a distensão do segmento oo’, e, portanto, a tração da armadura. Os pontos m e m’, por sua vez, localizados no bordo superior se aproximam mutuamente, caracterizando a contração do segmento mm’ e, em consequência do desempenho global da viga, o elemento “A” empurrado pelo seu semelhante posicionado à sua esquerda, e o elemento “C” impulsionado pelo seu semelhante posicionado à sua direita, empurram o elemento “B”, que reage a tal ação, resultando em compressão nesses elementos, Figura 11.c. Como decorrência natural da baixa resistência à tração do concreto, para as cargas de intensidade nas faixas prescritas nesse trabalho, que, por sinal, assemelham-se em magnitude, às cargas de serviço em estruturas usuais de construção civil, a seção de concreto está no estágio II, Figura

11.a. Tal estágio é caracterizado pelo fato de a região comprimida da seção de concreto permanecer no regime linear elástico e sua região alongada já se encontrar fissurada e a massa de concreto passa a absorver apenas tensões de intensidade pouco significativa. Assim, o concreto contribui, praticamente, apenas com sua resistência à compressão sendo a tração absorvida pelas barras de aço da armadura da viga. Considerando-se que o Fenômeno de Fluência se manifesta, precípua e exclusivamente, em elementos mantidos mediante tensões, apenas a massa de concreto da região acima da linha neutra efetivamente experimenta as deformações por Fluência, de modo que, apenas o segmento “om” da seção “S” apresentaria rotação sob o efeito de tal fenômeno. Entretanto, em razão da continuidade mecânica da massa de concreto e da rigidez do conjunto o segmento “on” é forçado a girar em virtude das deformações da massa de concreto localizadas na região abaixo da linha neutra, induzidas pelas deformações da região localizadas acima dela. Em razão de sua aderência à massa de concreto que a envolve cada uma das barras da armadura é levada ao alongamento e, portanto, a receber acréscimo de tensões de tração. O elemento “B”, por sua vez, que se encontra comprimido horizontalmente é contraído segundo tal direção mediante o efeito da Fluência do concreto, puxando para si seus vizinhos imediatos que reagem contrariamente tendendo a tracioná-lo, e, como resultado, o bordo superior da viga experimenta alívio na intensidade das tensões solicitantes.

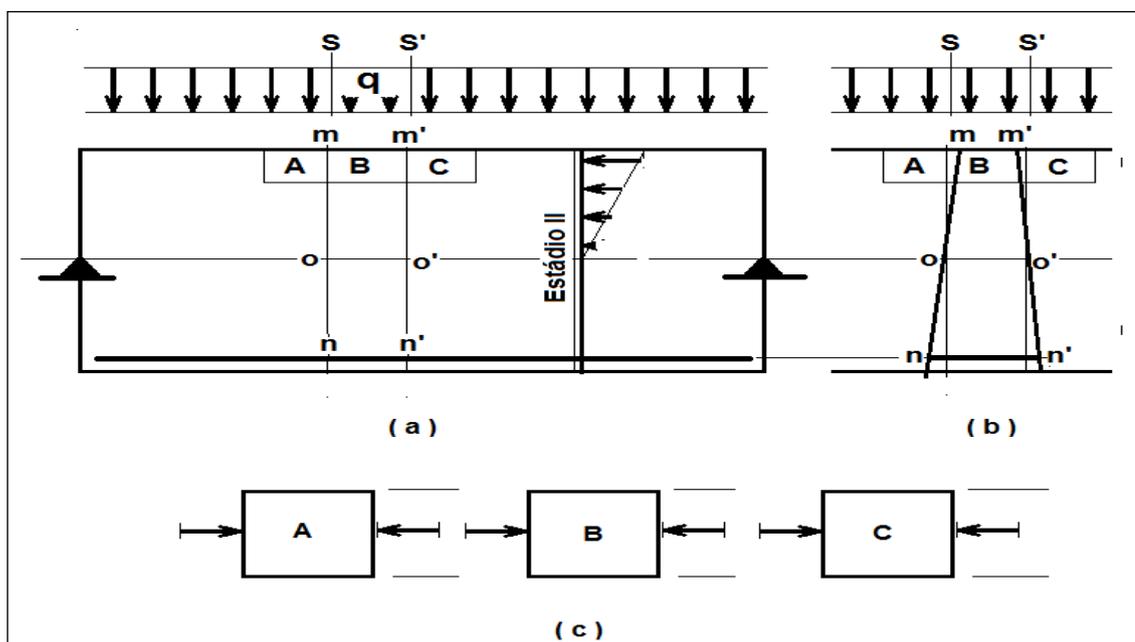


Figura 11 – Solicitação a viga de Concreto Armado.

	Deslocamento (mm)		Tensão(MPa)			
			concreto		armadura	
Caso	Imediato	Fluência (2000 dias)	Inicial	Fluência (2000 dias)	Inicial	Fluência (2000 dias)
1	10,0	16,1	15,0	8,0	215,1	438,6
2	10,0	16,0	15,0	8,2	215,1	440,5
3	10,0	16,1	15,0	8,0	215,1	439,8
4	10,0	16,1	15,0	7,9	215,1	437,9
5	10,0	16,0	15,0	8,2	215,1	441,3
6	10,0	13,9	15,0	8,8	215,1	414,7
7	10,0	14,0	15,0	8,6	215,1	414,7
8	10,0	14,0	15,0	8,6	215,1	414,7
9	10,0	14,1	15,0	8,6	215,1	416,7
10	10,0	14,1	15,0	8,5	215,1	416,9

Tabela 2 – Resultados gerais.

7 | CONCLUSÕES

Este trabalho se refere à análise do desempenho mecânico de vigas de concreto armado, em face das deformações por Fluência, com base em modelo de estado, a partir de uma formulação ortotrópica não linear e aproximação por elementos finitos, destacando-se a avaliação do efeito da temperatura.

Com vistas ao cumprimento de tal objetivo foram estudados alguns casos diferenciados entre si pela Temperatura e pelo Teor de Umidade.

A partir dos resultados obtidos constatou-se que, mediante as condições ambientais e considerando os parâmetros adotados para os casos analisados, as deformações por Fluência praticamente estabilizaram-se aos 2000 dias de idade do concreto à quais corresponderam deslocamento que atingiram até 1,6 vezes o deslocamento verificado no instante imediato ao carregamento.

Foi observado inclusive que, em virtude das deformações associadas ao fenômeno em destaque, ocorreu o alívio de tensões de compressão na massa de concreto, segundo padrões semelhantes àqueles reportados por MADUREIRA et al (2013), resultando para o caso de menor teor de umidade em tensão final cuja diferença em relação ao seu valor no instante imediato ao carregamento assumiu percentual de 47%.

Os resultados obtidos revelaram que, em decorrência das deformações por Fluência, as barras da armadura apresentaram acréscimo de tensões de modo que suas intensidades, embora tenham se estabilizado em patamar inferior ao limite de escoamento característico do aço, para os casos 1 a 5, de menor teor de umidade, atingiram o seu limite de escoamento de projeto indicando assim, conforme a NBR 6118/2014, situação de grande probabilidade de ruína do material.

A partir do exame dos resultados ficou evidente que, apesar de a temperatura não

alterar, significativamente, a magnitude final das deformações por Fluência, seu efeito se fez sentir na antecipação da ocorrência de tal patamar, além do que, em todo o curso de desenvolvimento do fenômeno, para temperaturas maiores resultaram deslocamentos por Fluência maiores.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2014**. Projeto de Estruturas de Concreto Armado – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **CEB-FIP Model Code 1990**. London, Thomas Telford, 1993.
- DESAI, C.S. e SIRIWARDANCE, H.J. **Constitutive Laws for Engineering Material**. Prentice-Hall, New Jersey, 1972.
- HOGNESTAD, E.. **A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members**. *University of Illinois Bulletin*, 1951.
- KAWANO, A., E WARNER, R. F.. **Model Formulations for Numerical Creep Calculations for Concrete**. *Journal of structural Engineering*, Vol. 122, Nº 3, March. ASCE, pp. 284-290, 1996.
- KUPFER, H.B. e GERSTLE, K.H. **Behaviour of Concrete under Biaxial Stresses**. *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 99, n. 4, pp. 853-866, 1973.
- KWAK, H.G. e FILIPPOU, F.C. **Finite Elements Analysis of Reinforced Concrete Structures under Monotonic Loads**. Report UCB/SEMM-90/14, Berkeley, Califórnia, 1990.
- MADUREIRA, E.L. **Simulação Numérica do Comportamento Mecânico de Elementos de Concreto Armado Afetados pela Reação Álcali-Agregado**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- MADUREIRA, E.L., SIQUEIRA, T. M. e da SILVA, J.C.. **Deformações por Fluência em Pilares de Concreto Armado**. *53 Congresso Brasileiro do Concreto*. Florianópolis – Santa Catarina – Brasil, 2011.
- MADUREIRA, E.L, SIQUEIRA, T. M. e RODRIGUES, E.C. **Análise de Vigas Incluindo a Fluência do Concreto**. *55 Congresso Brasileiro do Concreto*. Gramado – Rio Grande do Sul - Brasil, 2013.
- MADUREIRA, E.L. e SILVA, A.L.A. **Project1 – Programa para visualização de campos de tensões resultantes de análises não lineares de modelos bidimensionais de elementos finitos**. Versão 1.0, Rio Grande do Norte: DEC/UFRN, 2013.
- MADUREIRA, E.L e PAIVA, L.A. **Análise de Pilares-Parede Incluindo a Fluência do Concreto**. *57 Congresso Brasileiro do Concreto*. Bonito – Mato Grosso do Sul - Brasil, 2015.
- PITANGUEIRA, R. L. S. e PARENTE JR., E. **NLPOS – Programa para visualização de resultados de análises não lineares de modelos bidimensionais de elementos finitos**. Versão 1.0, Rio de Janeiro: DEC/PUC-Rio, 1997.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aderência 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 17, 18, 20, 42, 183, 276

Adições Minerais 38, 39, 49, 51, 55, 67, 81, 82, 90, 94

Aditivo 18, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 32, 33, 45, 46, 47, 74, 83, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 116, 119, 120, 125, 126, 127

Aditivo Plastificante 114, 116, 119, 120

Areia de Brita 13, 14, 16

Argamassas 3, 4, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 97, 105, 106, 107, 108, 109, 112, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 126, 127, 130, 139, 206, 210

Argamassas Estabilizadas 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 25, 27, 28, 105, 106, 112, 113

Arquitetura 30, 31

C

Cal Hidratada 1, 5, 10

Chapisco 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Cisalhamento Direto 128, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 142

Colorido 30, 31, 32, 36, 37

Compósitos Cimentícios 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79

Concreto 3, 12, 13, 15, 18, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 72, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 102, 103, 104, 113, 115, 116, 123, 127, 143, 144, 145, 146, 148, 149, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 204, 210, 211, 214, 217, 220, 221, 222, 223, 224, 227, 231, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 245, 250, 251, 252, 253, 255, 256, 257, 267, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 296, 298, 299, 303, 304

Corrosão 38, 40, 42, 49, 50, 51, 53, 54, 66, 67, 303

D

Detergente Doméstico 114, 116, 119, 125, 127

E

EPS 128, 129, 130, 131, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 277

Escoramento 159, 160, 161, 162, 163, 168, 169

F

Fibras de Celulose 68, 71, 73, 78

G

Geossintéticos 128, 140, 141

I

Interação 55, 75, 76, 139, 143, 220, 250

Íon Cloreto 39, 42

L

Laje Pré-Moldada 159, 166, 168

M

Manifestações Patológicas 15, 51, 53, 223, 225, 226, 235, 301, 302, 303, 304

Metacaulim 11, 12, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 60, 62, 64, 65, 66, 67

Método dos Elementos Finitos 143, 144

Migração de Íons 39, 43, 45

Módulo de Elasticidade 81, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 93, 164, 198, 201, 207, 210, 211, 214, 217, 218, 239, 242, 276, 289

P

Patologias 39, 97, 222, 223, 234, 252

Permeabilidade 13, 14, 16, 17, 18, 21, 23, 27, 28, 39, 40, 51, 65, 66, 112, 125, 306

Poliestireno Expandido 128, 129, 137, 138, 140, 141

Procedimento 11, 37, 49, 93, 105, 108, 132, 157, 165, 172, 174, 175, 185, 204, 211, 226, 229, 284, 292, 295, 304

Programa Computacional 61, 143

R

Reforço 11, 50, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 129, 232, 233, 236, 251, 252, 253, 255, 256, 257, 259, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 269, 272, 285, 288, 289, 304, 305

Rigidez à Torção 143, 144, 146, 148, 154, 155, 157

Rigidez Experimental 159, 167, 168

S

Sílica 12, 32, 33, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 56, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 89, 90, 91, 92, 93

Sílica Ativa 32, 33, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 81, 82, 83, 84, 85, 89, 90, 92, 93
Solos 128, 129, 130, 133, 134, 135, 136, 137, 142, 305, 306

 **Atena**
Editora

2 0 2 0