



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 Ildfonso 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

REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM PRF: UM ESTUDO DE CASO

Data de aceite: 01/06/2020

Data de Submissão: 03/04/2020

Elisson Bilheiro Ferreira Filho

Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ.

<http://lattes.cnpq.br/0387137804507292>

Ruan Richelly Santos

Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG.

<http://lattes.cnpq.br/9293046930915435>

Letícia Ikeda Castrillon Fernandez

Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ.

<http://lattes.cnpq.br/0351807902694280>

Diôgo Silva de Oliveira

Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG.

<http://lattes.cnpq.br/8293118464464680>

Artigo publicado nos Anais do 59 Congresso Brasileiro de Concreto (2017)

RESUMO: Estruturas de concreto armado estão sujeitas a processos de deterioração que por diversos fatores podem gerar a necessidade da aplicação de reforço estrutural. Uma das alternativas para o reforço é por meio da aplicação de Polímeros Reforçados com

Fibra de Carbono (PRFC). O objetivo deste trabalho foi analisar as implicações estruturais da aplicação desse tipo de reforço em lajes, vigas e pilares de concreto armado. Para tanto, foi realizado um estudo de caso de um edifício, inicialmente projetado para uso comercial e que posteriormente teve sua utilização alterada para implantação de uma academia. A análise estrutural para ambas as situações foi realizada por meio da modelagem numérica em elementos finitos, com o qual foram obtidos os esforços solicitantes em todos os elementos da estrutura. Os elementos de concreto armado foram verificados de acordo com a ABNT NBR 6118:2014. Para o dimensionamento do reforço foram consideradas as recomendações do ACI 440.2R-08. Este trabalho pode ser considerado um modelo simples para rotina de projeto utilizando reforço com PRFC, contribuindo assim para a maior difusão deste sistema no meio técnico brasileiro. Por fim, constatou-se que devido às características mecânicas, praticidade e rapidez de execução, o PRFC é uma alternativa promissora a ser acrescentada aos métodos tradicionais de reforço.

PALAVRAS-CHAVE: Reforço Estrutural. Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono. Concreto Armado. Dimensionamento.

STRUCTURAL STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES USING FRP: A CASE STUDY

ABSTRACT: Reinforced concrete structures are subject to deterioration processes which, due to several factors, may require the use of structural reinforcement. One of the alternatives for reinforcement is through the application of Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP). The goal of this work was to analyze the structural implications of the application of this type of reinforcement in reinforced concrete slabs, beams and columns. To this end, a case study of a building was carried out. Initially, the construction was designed for commercial purpose and later had its use changed for the implantation of a gym. The structural analysis for both situations was performed through a finite element modeling. Then, the design loads in all components of the structure were obtained. The reinforced concrete elements were verified according to ABNT NBR 6118:2014. For the design of the reinforcement, the ACI 440.2R-08 recommendations were taken into account. This work can be considered a simple model for the design routine using reinforcement with CFRP. Thus, it contributes to the greater diffusion of this system in the Brazilian technical environment. Finally, it was found that due to the mechanical characteristics, practicality and speed of execution, CFRP is a promising alternative to be added to traditional reinforcement methods.

KEYWORDS: Structural Strengthening. Carbon Fiber-Reinforced Polymer. Reinforced Concrete. Design.

1 | INTRODUÇÃO

O reforço de estruturas de concreto armado pode ser necessário por diversas razões, como: modificação de uso da estrutura, presença de patologias e danos estruturais, necessidade de elevar a capacidade de carga da estrutura, falhas de projeto, dentre outros. Os principais tipos de reforço de estruturas de concreto armado são: adição de chapas e perfis metálicos, protensão externa e o encamisamento com concreto armado (SOUZA e RIPPER, 1998). Porém, as escolhas dessas opções podem gerar impactos arquitetônicos e interferir na utilização da estrutura, além de serem de difícil execução em alguns casos.

Como alternativa existe a possibilidade de aplicação de reforços com Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono (PRFC), materiais compostos por duas fases distintas: as fibras, que conferem resistência e rigidez, e a matriz polimérica que transfere as tensões e compatibiliza as deformações entre o substrato de concreto e as fibras (ACI 440.2R-08). Esse material pode ser aplicado de diversas formas, seja como lâminas, que podem ser coladas ao substrato, ou como tiras que podem ser inseridas na estrutura por meio de ranhuras abertas no concreto.

Esse tipo de reforço, além de conferir grande aumento de resistência, é de fácil aplicação comparado aos demais tipos de reforços e pode ser executado em locais de

difícil acesso, além de proporcionarem menor impacto estético. Nesse contexto, esse trabalho visa discutir e exemplificar a aplicação desse tipo de reforço em elementos de vigas, lajes e pilares de concreto armado.

2 | DIMENSIONAMENTO DOS REFORÇOS SEGUNDO O ACI 440.2R-08

O Brasil ainda não possui norma técnica que aborde o tema do reforço estrutural com PRFC, portanto, foram estudadas normas e manuais estrangeiros, como por exemplo, o *Bulletin N°14* (FIB, 2001), o *Technical Report TR 55* (Concrete Society, 2012), o ACI 440.2R-08 (American Concrete Institute, 2008), dentre outras. Porém, a norma mais aceita no meio técnico atual é a ACI 440.2R-08, e por isso foi utilizada como base para o dimensionamento dos reforços com PRFC nesse trabalho.

2.1 Reforço de pilares por confinamento

O reforço de pilares por confinamento pode ser realizado para aumento de resistência axial, ou para solicitações combinadas de flexão e compressão, sendo a última situação a mais comum em projetos de concreto armado. Para pilares de concreto armado com estribos convencionais, o ACI 440.2R-08 determina que a força axial resistida pelo pilar é dada por:

$$\phi P_n = 0,80\phi [0,85f'_{cc}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (\text{Equação 1})$$

O modelo tensão-deformação adotado pelo ACI 440.2R-08 é o modelo de Lam e Teng (2003) conforme mostrado na figura 1^a. Já na figura 1b, apresenta-se os parâmetros que devem ser considerados para o reforço de acordo com a seção transversal e a área de concreto efetivamente confinado.

Os ramos do diagrama tensão deformação (Figura 1a) podem ser calculados segundo as equações apresentadas na tabela 1.

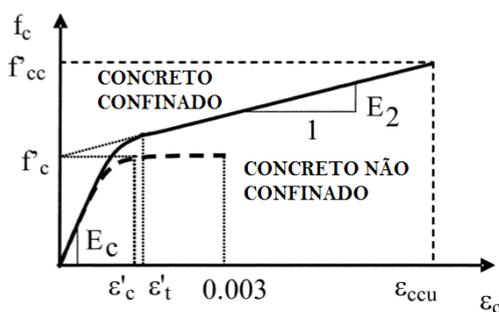


Figura 1a - Modelo de Lam e Teng (2003).

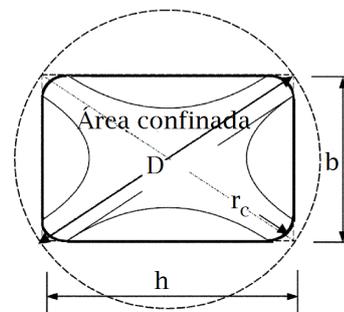


Figura 1b - Parâmetros da seção.

Lam e Teng	$f_c = \begin{cases} E_c \varepsilon_c - \frac{(E_c - E_2)^2}{4f'_c} \varepsilon_c^2 & \text{para } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon'_t \\ f'_c + E_2 \varepsilon_c & \text{para } \varepsilon'_t \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc} \end{cases}$		$E_2 = \frac{f'_{cc} - f'_c}{\varepsilon_{ccu}}$	$\varepsilon'_t = \frac{2f'_c}{E_c - E_2}$
Tensões e deformações	$f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3,3 \kappa_a f_l$	$f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D}$	$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left(1,50 + 12 \kappa_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0,45} \right)$	$\varepsilon_{fe} = \kappa_\varepsilon \varepsilon_{fu}$ $\varepsilon_{ccu} \geq 0,01$
Fatores de forma	$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{b}{h} \right) (h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b} \right) (b - 2r_c)^2 \right]}{3A_g} - \rho_g$		$\kappa_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h} \right)^2$	$\kappa_b = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{h}{b} \right)^2$

Tabela 1 - Modelo de Lam e Teng e determinação da resistência máxima.

Para considerar a flexão composta, o ACI baseia-se no modelo de diagrama interativo momento-normal simplificado proposto por Rocca et al. (2008) mostrado na figura 2.

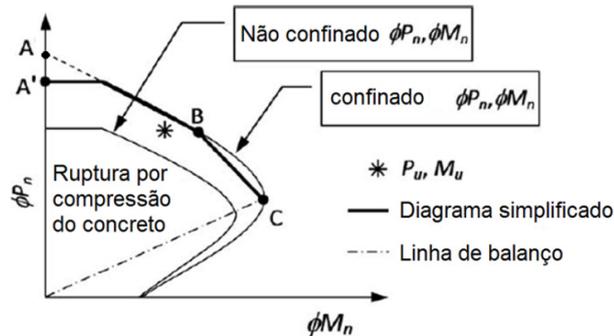


Figura 2 - Diagrama interativo M-P (Rocca et al., 2008).

O ponto A corresponde à compressão centrada, calculado pela Equação 1, que deve ser minorado em 0,8, dando origem ao ponto A', por efeito de segurança. Já os pontos B e C são determinados considerando a distribuição de deformações de acordo com a figura 3. Já o cálculo para flexão composta é dado pela tabela 2.

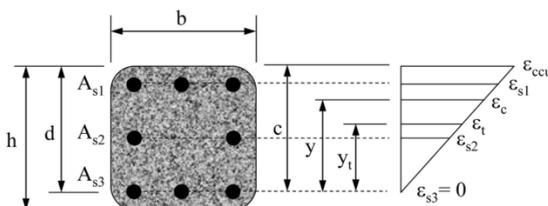


Figura 3a - Pontos B (Rocca et al., 2008).

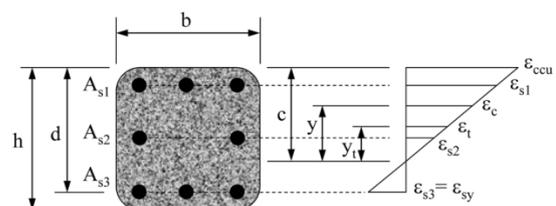


Figura 3b - Pontos C (Rocca et al., 2008).

Normal e momento resistente	$\phi P_{n(B,C)} = \phi \left[A(y_t)^3 + B(y_t)^2 + C(y_t) + D \right] + \sum A_{si} f_{si}$	
	$\phi M_{n(B,C)} = \phi \left[E(y_t)^4 + F(y_t)^3 + G(y_t)^2 + H(y_t) + I \right] + \sum A_{si} f_{si} d_i$	
Parâmetros	$A = \frac{-b(E_c - E_2)^2}{12f'_c} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)^2$	$F = b \left(c - \frac{h}{2} \right) \frac{(E_c - E_2)^2}{12f'_c} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)^2 + \frac{b(E_c - E_2)}{3} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)$
	$B = \frac{-b(E_c - E_2)}{12f'_c} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)$	$G = \left(\frac{b}{2} f'_c + b \left(c - \frac{h}{2} \right) \frac{(E_c - E_2)}{2} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right) \right)$
	$C = -bf'_c$	$H = bcf'_c \left(c - \frac{h}{2} \right)$
	$D = bcf'_c + \frac{bcE_2}{2} (\epsilon_{ccu})$	$I = \frac{bc^2}{h} f'_c - bcf'_c \left(c - \frac{h}{2} \right) + \frac{bc^2 E_2}{3} (\epsilon_{ccu})$
	$E = \frac{-b(E_c - E_2)^2}{16f'_c} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)^2$	$-\frac{bc^2 E_2}{2} \left(c - \frac{h}{2} \right) (\epsilon_{ccu})$
Linha neutra	$c = \begin{cases} d & \text{para } B \\ d \frac{\epsilon_{ccu}}{\epsilon_{sy} + \epsilon_{ccu}} & \text{para } C \end{cases}$	$y_t = c \frac{\epsilon'_t}{\epsilon_{ccu}}$

Tabela 2 - Flexão composta (Rocca et al., 2008)

2.2 Reforço de vigas e lajes à flexão

O dimensionamento de vigas à flexão se baseia nas hipóteses e princípios do estado-limite último. Os modos de ruptura de vigas à flexão podem ser do tipo dúctil, em casos de alongamento plástico excessivo do aço, ou frágil, devido ao esmagamento do concreto ou ruptura do reforço. Além disso, pode ocorrer ruptura por delaminação do cobrimento do concreto ou pelo descolamento do PRF do substrato. O momento resistente é determinado com base no nível de tensão na estrutura obtido pelas equações presentes na tabela 3.

Parâmetros de projeto	$\epsilon_{fu} = C_E \cdot \epsilon_{fu}^*$	$f_{fu} = C_E \cdot f_{fu}^*$
Deformações	$\epsilon_{bi} = \frac{M_{DL} \cdot (d_f - (k \cdot d))}{I_{cr} \cdot E_{cr}}$	$\epsilon_{fd} = 0,41 \cdot \sqrt{\frac{f'_c}{n_s \cdot E_f \cdot t_f}} \leq 0,9 \cdot \epsilon_{fu}$
Tensão efetiva	$f_{fe} = E_f \cdot \epsilon_{fe}$	
	$\epsilon_{fe} = \epsilon_{cu} \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \epsilon_{bi} \leq \epsilon_{fd}$	

Tabela 3 - Reforço à flexão.

Na figura 4 apresenta-se a distribuição de tensões na seção, representando alguns parâmetros necessários para obtenção da tensão efetiva.

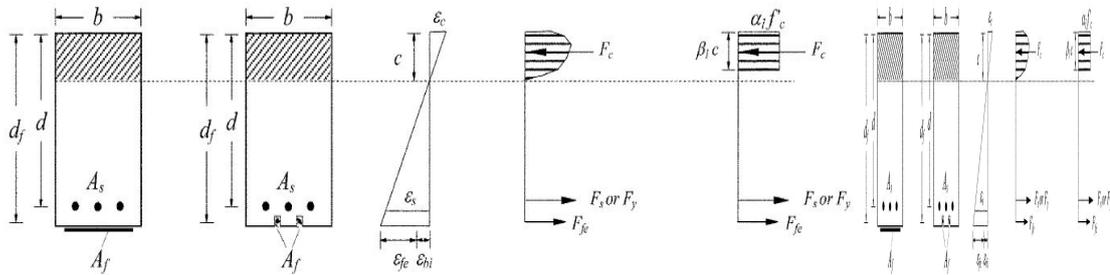


Figura 4 - Distribuição de tensões sob flexão no estado limite último (ACI 440.2R-08, 2008).

A obtenção do nível de tensões na estrutura é um processo iterativo, onde estima-se uma profundidade da linha neutra (c). A figura 5 apresenta um fluxograma do processo.

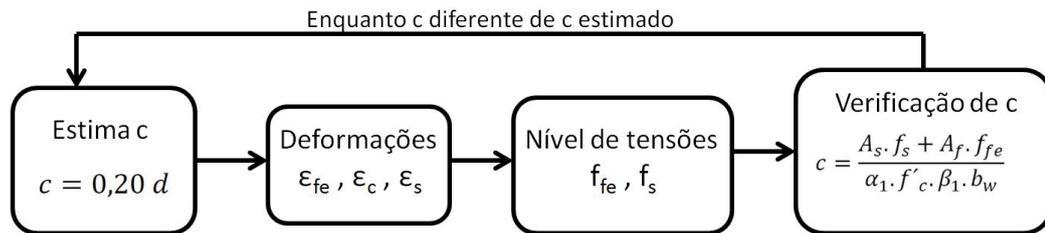


Figura 5 - Fluxograma do processo iterativo para determinação do nível de tensões na estrutura.

O momento resistente de uma viga de concreto com reforço PRF é dado por:

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right) + \Psi_f \cdot A_f \cdot f_{fe} \left(d_f - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s \left(\frac{\beta_1 \cdot c}{2} - d \right) \quad (\text{Equação 2})$$

A verificação à flexão requer que o momento resistente da estrutura com reforço exceda o momento solicitante. O reforço de lajes é realizado apenas à flexão, sendo o dimensionamento análogo ao de vigas, a partir da consideração de faixas de viga de 1,0 m de base.

2.3 Reforço de vigas ao esforço cortante

A ACI 440.2R-08 apresenta três esquemas de aplicação de reforço ao corte: envolvimento completo, envolvimento em “U” e colagem lateral. O tipo de envolvimento a ser utilizado depende do acesso ao local, da magnitude de incremento de resistência necessário, da disponibilidade de recursos, dentre outros fatores relativos à aplicação.

O dimensionamento do reforço de vigas à força cortante é realizado por meio de uma analogia com estribos internos de aço. Desse modo, a resistência ao cisalhamento de uma viga reforçada é dada por:

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s + \psi_f V_f) \quad (\text{Equação 3})$$

A resistência ao corte devido ao reforço de PRF é obtida por meio das equações

apresentadas na tabela 4, na qual a deformação efetiva do reforço depende do tipo de envolvimento adotado. A primeira equação de deformação representa o cálculo para o caso de envolvimento completo, enquanto a segunda, representa o caso de envolvimento em “U” e colagem lateral. A figura 6 exibe os parâmetros dimensionais adotados no dimensionamento do reforço.

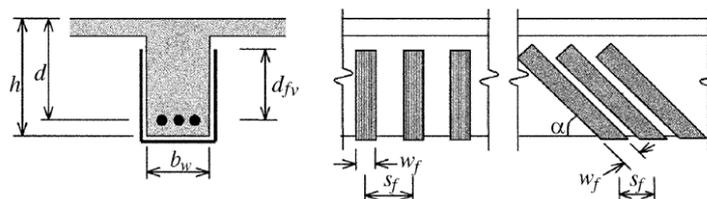


Figura 6 - Parâmetros dimensionais utilizados no cálculo do reforço ao corte (ACI 440.2R-08, 2008).

Resistência ao corte	$V_f = \frac{A_{fv} \cdot f_{fe} (\text{sen} \alpha + \text{cos} \alpha) d_{fv}}{s_f}$	$f_{fe} = \varepsilon_{fe} \cdot E_{fe}$	$A_{fv} = 2 \cdot n \cdot t_f \cdot w_f$
Deformações efetivas	$\varepsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75 \cdot \varepsilon_{fu}$	$\varepsilon_{fe} = k_v \varepsilon_{fu} \leq 0,004$	

Tabela 4 – Equações para cálculo da resistência ao corte devido ao reforço.

3 | ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi feito considerando-se um edifício inicialmente projetado como edifício comercial, com escritórios, e que posteriormente teve utilização modificada para instalação de uma academia, gerando um aumento de sobrecarga acidental. O edifício é composto de 4 pavimentos, sendo o primeiro com pé direito de 4,0 m, com lojas comerciais e os demais pavimentos possuem pé direito de 2,80 m nos quais se instalou a academia. O esquema arquitetônico é apresentado na figura 7. Neste trabalho, a título de exemplo, foram apresentados os dimensionamentos apenas de um elemento estrutural mais solicitado, de cada tipo, ou seja, um pilar, uma viga e uma laje.

Para o reforço do pilar utilizou-se da técnica do confinamento transversal com PRFC. A laje foi reforçada à flexão pela colagem de laminados de PRFC nas direções das armaduras longitudinais. Do mesmo modo, a viga foi reforçada à flexão com a colagem dos laminados na direção da armadura longitudinal e reforçada também à força cortante, com a aplicação dos laminados na face lateral e inferior da viga.

Para o dimensionamento em concreto armado e do reforço com PRFC para o edifício foi considerado um f_{ck} de 20MPa, comumente utilizado em edifícios de pequeno porte. As ações consideradas são apresentadas na tabela 5.

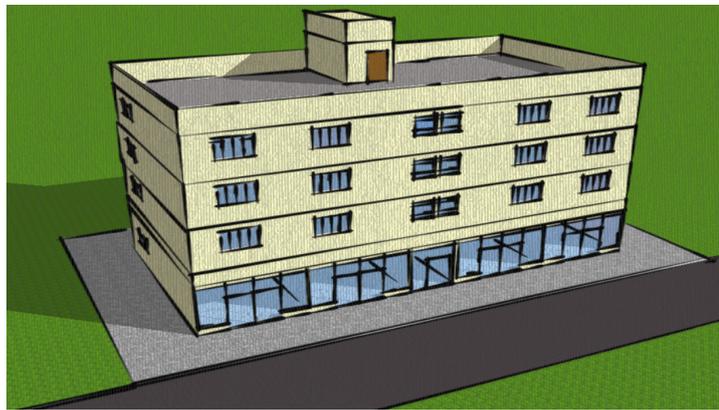


Figura 7 - Esquema arquitetônico em perspectiva do edifício.

Tipo de ação	Ações	Significado da ação	Valor
Ações Permanentes	G	Peso próprio da estrutura	25 kN/m ³
	G _{pav}	Peso da pavimentação e revestimento	1,0 kN/m ²
	G _{par}	Peso próprio das paredes	2,2 kN/m ²
	G _{esc}	Reação devido ao peso próprio da escada	15,72 kN/m
Ações variáveis	Q _{util,1}	Sobrecarga de utilização inicial (escritórios)	2,0 kN/m ²
	Q _{util,2}	Sobrecarga de utilização final (academia)	5,0 kN/m ²
	Q _{esc}	Reação devido à sobrecarga de utilização das escadas	9,0 kN/m ²
	Q _{cob}	Sobrecarga de cobertura	2,0 kN/m ²

Tabela 5 – Ações consideradas.

A análise estrutural para as duas situações de carregamento foi realizada por meio da modelagem em elementos finitos utilizando o software SAP2000 V16.0.0. O modelo estrutural bem como os esforços obtidos são mostrados na Figura 8.

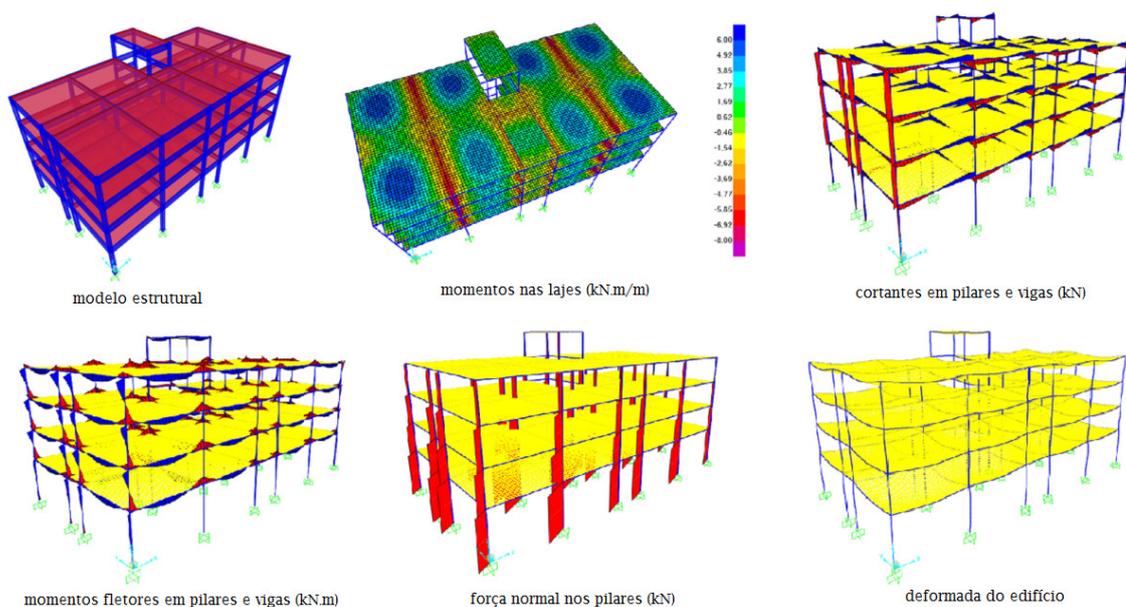


Figura 8 - Modelo estrutural e aspecto dos esforços na estrutura.

3.1 Dimensionamento das armaduras e do reforço em PRFC

3.1.1 Dimensionamento dos pilares e do reforço por confinamento

Na figura 9 são apresentados os diagramas de esforços solicitantes para o pilar mais solicitado, cuja seção é de 30x30 cm², antes e após a modificação de uso.

As armaduras foram dimensionadas conforme critérios da ABNT NBR 6118:2014, pelo diagrama interativo momento normal da seção transversal. Na tabela 6 apresenta-se o resultado do dimensionamento das armaduras, e na figura 10 apresenta-se o detalhamento nos dois primeiros os níveis do pilar que demandaram reforço.

Já para o dimensionamento do reforço foi necessário utilizar uma simplificação presente na ABNT NBR 6118:1980, que transforma a situação de flexão composta oblíqua em uma composta equivalente em uma das direções, pois o modelo do ACI 440.2R-08 considera apenas flexão normal composta. Na Tabela 7 apresenta-se essa transformação.

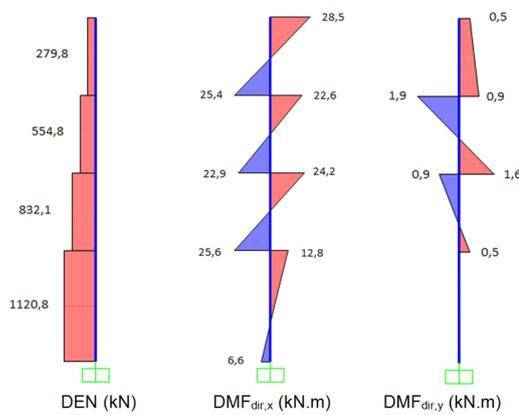


Figura 9a - Esforços iniciais no pilar.

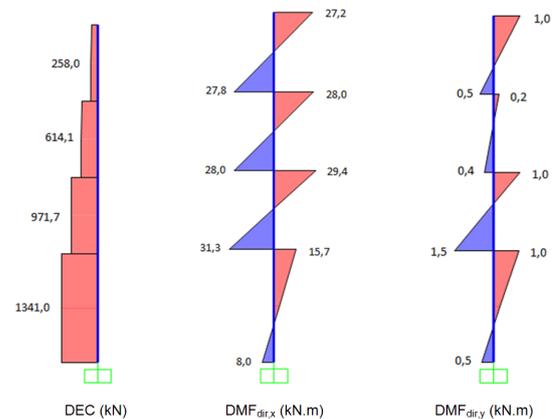


Figura 9b - Esforços finais no pilar.

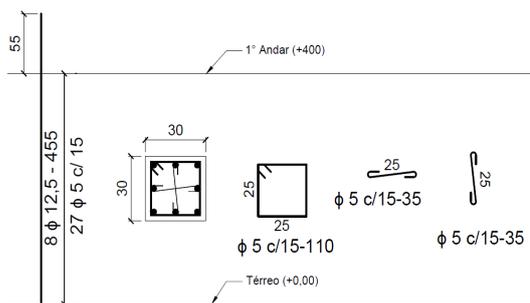


Figura 10a - Detalhe das armaduras no térreo.

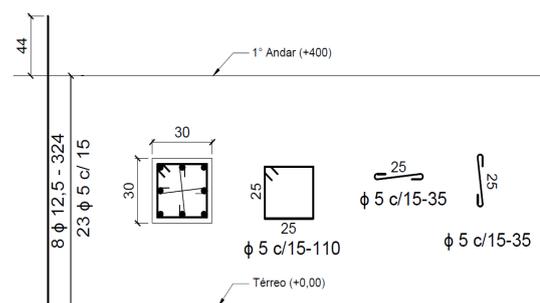


Figura 10b - Detalhes das armaduras - 1º pav.

Nível	Comprimento (m)	N _d (kN)	M _{dx} (kN.m)	M _{dy} (kN.m)	A _{s, long}	A _{s, trans}	Ganchos
1	2,80	832,1	19,97	30,06	8φ 12,5	27 φ 5 c/15 - 110	2x 27 φ 5 c/15 - 35
Térreo	4,00	1120,8	26,90	26,90	8φ 10	23 φ 5 c/12 - 110	2x 23 φ 5 c/12 - 35

Tabela 6 – Dimensionamento do pilar mais solicitado.

Nível	e_x	h_x	e_y	h_y	N_d	n	ω	β	$e_{x,eq}$	M_d
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kN)				(cm)	(kN.m)
1º Pav.	2,40	30,0	3,90	30,0	971,7	0,77	0,22	0,84	5,92	57,52
Térreo	2,40	30,0	2,40	30,0	1341,0	0,92	0,84	0,92	4,61	61,79

Tabela 7 – Transformação da flexão composta oblíqua em composta normal.

As propriedades do sistema de PRFC escolhido para o dimensionamento são apresentadas na Tabela 8. Na figura 11 apresenta-se a definição das camadas de armadura e as propriedades da seção transversal do pilar nos dois níveis.

t_f	f_{tu}^*	ϵ_{fu}^*	E_{fu}	C_e	k_e	f_{fu}	ϵ_{fu}	ϵ_{fe}
(mm)	(MPa)	(mm/mm)	(MPa)			(MPa)	(mm/mm)	(mm/mm)
0,330	3792,0	0,0167	227527	0,95	0,55	3602,4	0,0159	0,00873

Tabela 8 – Propriedades físicas do PRFC.

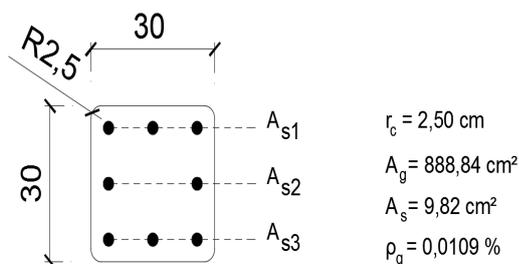


Figura 11 - Camadas de armaduras e propriedades da seção transversal (dimensões em cm).

Considerando $\phi = 0,65$ e $\Psi = 0,95$, conforme o ACI 440.2R-08, é possível calcular os pontos A, A', B e C do diagrama interativo simplificado e comparar o aumento de resistência de acordo com a quantidade de camadas com a solicitação no pilar. Os pontos A e A' são calculados na tabela 9.

f_l	A_g/A_c	ka	f'_{cc}	$\phi P_{n(A')}$	$\phi P_{n(A)}$
(MPa)			(MPa)	(kN)	(kN)
14,67	0,95	0,531	45,72	1998,2	2497,8

Tabela 9 – Propriedades físicas do PRFC.

Para o ponto B e C as tensões nas camadas de armadura são apresentadas na tabela 10.

Camada	Ponto B			Ponto C		
	As1	As2	As3	As1	As2	As3
ϵ_{si}	0,0075	0,0037	0,00	0,0072	0,0026	-0,0021
f_{yi}	434,78	434,78	0,00	434,78	434,78	-414,00
R_{si}	160,07	106,71	0,00	160,07	106,71	-152,42

Tabela 10 – Tensões e forças nas camadas de armadura.

As propriedades para o cálculo dos pontos B e C são apresentados na tabela 11 e os coeficientes para flexo-compressão normal na Tabela 12.

Ponto	ϵ'_c	κ_α	κ_β	ϵ_{fe}	f_l	f_{cc}	c	ϵ'_{ccu}	E_2	ϵ'_t	y_t	$f_l/f'_c > 0,08$
	(mm/mm)			(mm/mm)	(MPa)	(MPa)		(mm/mm)	(MPa)	(mm/mm)		
B	0,0020	0,53	0,53	0,0040	6,725	31,79	26,00	0,0089	1331,2	0,0020	5,81	0,34
C	0,0020	0,53	0,53	0,0040	6,725	31,79	21,07	0,0089	1331,2	0,00198	4,71	0,336

Tabela 11 – Propriedades de cálculo dos pontos B e C.

Ponto	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	(kN/cm ³)	(MPa)	(kN/cm)	(kN)	(kN/cm ³)	(kN/cm ²)	(kN/cm)	(kN)	(kN.cm)
B	-0,59	103,24	-60,00	2019,78	-0,44	13,40	-143,57	660,00	6031,95
C	-0,22	63,00	-60,00	923,00	-0,17	4,28	-32,42	23,00	6745,59

Tabela 12 – Coeficientes dos pontos B e C.

Repetindo o processo, considerando $n=0$ (sem reforço), é possível obter os pontos para o pilar não reforçado. Da mesma forma para o 1º pavimento, os resultados são apresentados na Tabela 13. Esses pontos são apresentados na Figura 12.

PONTO	Térreo				1º Pav.			
	Pilar Normal (n=0)		Pilar reforçado (n=5)		Pilar Normal (n=0)		Pilar reforçado (n=3)	
	ϕP_n (kN)	ϕM_n (kN.m)	ϕP_n (kN)	ϕM_n (kN.m)	ϕP_n (kN)	ϕM_n (kN.m)	ϕP_n (kN)	ϕM_n (kN.m)
A	1248,77	0	2497,77	0	1156,7	0	1914,77	0
A'	999,02	0	1998,22	0	925,36	0	1531,81	0
B	949,3	46,32	1410,71	57,87	897,26	42,2	1203,62	48,17
C	483,52	65,7	1077,2	81,34	480,86	56,94	864,66	67,81

Tabela 13 – Pontos do diagrama interativo simplificado.

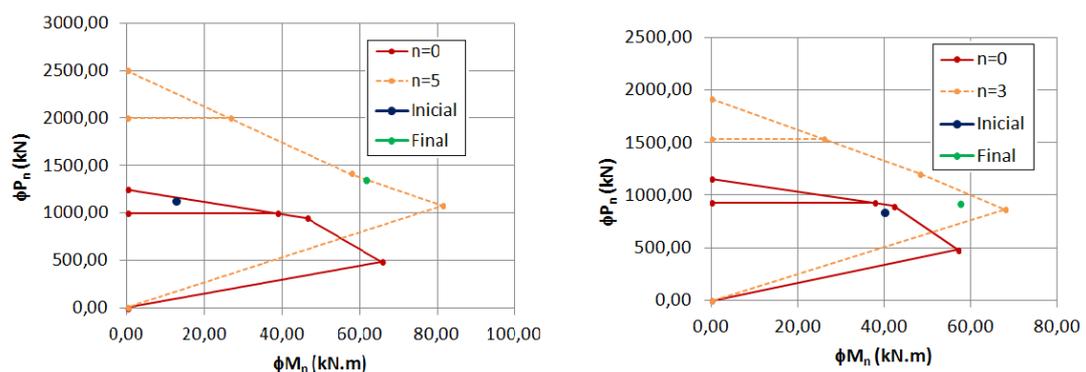


Figura 12 - Diagramas simplificados do pilar sem e com reforço com PRFC.

Ressalta-se que o cálculo é iterativo, pois define-se a quantidade de camadas de reforço por tentativas. Logo, elaborar os diagramas ajuda a definir o reforço, pois uma vez que o ponto de trabalho da seção esteja no interior do diagrama do pilar reforçado, define-se o número de camadas.

Os detalhes dos reforços nos dois níveis são apresentados na Figura 13, onde considerou-se mantas de PRFC com 50cm de largura.

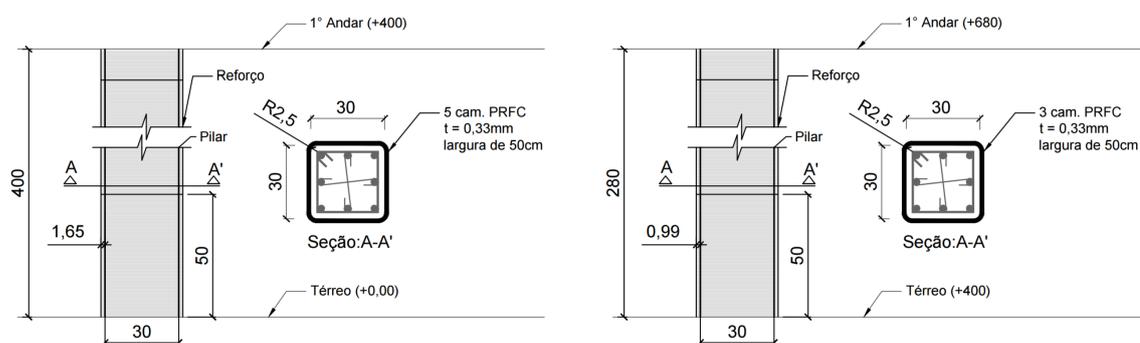


Figura 13 - Detalhamento do reforço no pilar nos dois primeiros níveis.

3.1.2 Dimensionamento da viga, do reforço ao corte e do reforço à flexão

Na figura 14 apresenta-se os esforços solicitantes para a viga mais solicitada (15x60 cm²). Na tabela 14 apresenta-se o resultado do dimensionamento das armaduras de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, e na figura 15 apresenta-se o detalhamento de um trecho da viga.

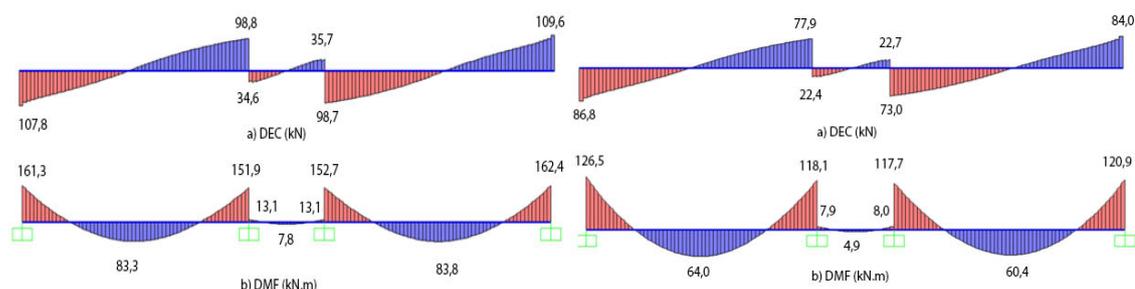


Figura 14a - Esforços iniciais na viga.

Figura 14b - Esforços finais na viga.

As propriedades do sistema de PRFC escolhido para o dimensionamento do reforço ao esforço cortante são apresentadas na tabela 15. Foi adotado o reforço ao cisalhamento com envolvimento em “U” devido suas características construtivas, os resultados são apresentados pela tabela 16. Ressalta-se que o reforço foi necessário apenas nos tramos (A) e (C) da viga.

Viga	Tramo	Armadura Longitudinal			Armadura Transversal			
			φ					
V106	A	2	φ	16	φ	5	c/	26
		2	φ	16				
		4	φ	12,5				
	B	2	φ	10	φ	5	c/	29
		4	φ	12,5				
		3	φ	12,5				
C	2	φ	16	φ	5	c/	28	

Tabela 14 – Dimensionamento da viga mais solicitada.

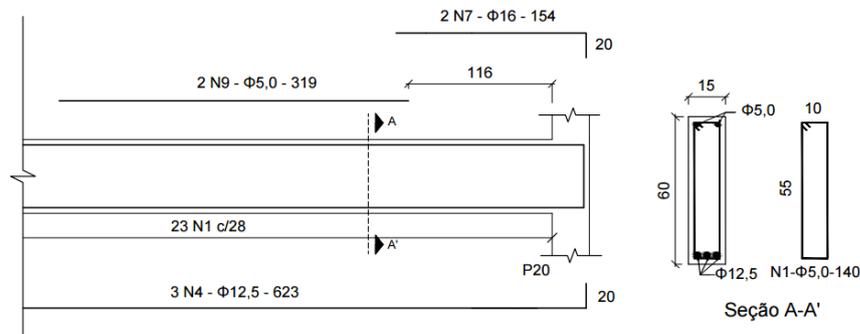


Figura 15 - Detalhe das armaduras de um trecho da viga mais solicitada.

t_f	f_{fu}^*	ϵ_{fu}^*	E_{fu}	C_e	d_{fv}	f_{fu}	ϵ_{fu}	ϵ_{fe}
(mm)	(MPa)	(mm/mm)	(MPa)		(mm)	(MPa)	(mm/mm)	(mm/mm)
0,165	3790	0,017	227530	0,95	600	3601	0,0162	0,0033

Tabela 15 – Propriedades físicas do PRFC - ao corte.

Viga	Tramo	V_u	$V_{f, nec.}$	n	w_f	$S_{f, adot}$	A_{fv}	V_f	ϕV_n
		(kN)	(kN)		(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(kN)
V106	A	107,8	54,6	1	150	300	49,5	74,98	120,79
	C	109,6	60,5	1	150	300	49,5	74,98	118,86

Tabela 16 – Dimensionamento do reforço ao corte.

As propriedades do sistema de PRFC escolhido para o dimensionamento do reforço à flexão são apresentadas na tabela 17.

t_f	f_{fu}^*	ϵ_{fu}^*	E_{fu}	C_e	w_f	f_{fu}	ϵ_{fu}
(mm)	(MPa)	(mm/mm)	(MPa)		(cm)	(MPa)	(mm/mm)
0,33	3790	0,017	227530	0,95	15	3600,5	0,0162

Tabela 17 – Propriedades físicas do PRFC - à flexão

Assim como para o cisalhamento, o reforço à flexão foi necessário apenas nos tramos (A) e (C), sendo a armadura longitudinal do tramo (B) suficiente para suportar o incremento dos esforços. Na tabela 18 são apresentados o cálculo das deformações e

níveis de tensão.

Propriedades	Tramo A			Tramo C		
	1	2	3	1	2	3
A_s (cm²)	4,02	4,02	4,91	4,91	3,68	4,02
M_u (kN.m)	94,30	109,00	132,50	132,50	109,70	96,90
n_f	1	2	3	4	4	1
A_f (cm²)	0,495	0,990	1,485	1,485	1,980	0,495
Deformações (mm/nm)						
ϵ_{bi}	0,0010	0,0012	0,0012	0,0012	0,0013	0,0011
ϵ_{td}	0,0067	0,0047	0,0039	0,0039	0,0033	0,0067
ϵ_{fe}	0,0113	0,0091	0,0070	0,0070	0,0073	0,0113
ϵ_c	0,0019	0,0017	0,0019	0,0019	0,0016	0,0019
ϵ_s	0,0069	0,0053	0,0045	0,0045	0,0041	0,0070
Nível de tensão na armadura e no PRF (MPa)						
f_s	0,0010	0,0012	0,0012	0,0012	0,0013	0,0011
f_{fe}	0,0067	0,0047	0,0039	0,0039	0,0033	0,0067

Tabela 18 – Cálculo de deformações e nível de tensões na viga

As verificações para resistência à flexão, tensão de serviço e limite de ruptura à fluência são determinadas pela tabela 19. A Figura 16 apresenta o detalhamento do reforço em um trecho da viga.

Propriedades	Tramo A			Tramo C		
	1	2	3	1	2	3
Verificação da resistência à flexão ($\Phi M_n \geq M_u$)						
M_u (kN.m)	94,30	109,00	132,50	132,50	109,70	96,90
M_{nf} (kN.m)	41,81	58,44	70,19	70,19	81,66	41,81
ΦM_n (kN.m)	111,39	123,09	139,89	139,89	122,00	111,39
Verificação da tensão de serviço ($f_{s,s} \geq 0,8f_y$)						
M_s (kN.m)	68,20	78,60	95,60	95,60	79,10	70,30
$f_{s,s}$ (MPa)	316,91	345,53	339,88	339,88	345,56	327,08
$0,8f_y$ (MPa)	347,83	347,83	347,83	347,83	347,83	347,83
Verificação limite de ruptura à fluência ($f_{t,s} \geq 0,8f_{tu}$)						
$f_{t,s}$ (MPa)	170,44	179,04	171,80	171,80	153,43	172,69
$0,55f_{tu}$ (MPa)	1980,28	1980,28	1980,28	1980,28	1980,28	1980,28

Tabela 19 – Verificações de resistência e tensões da solução adotada

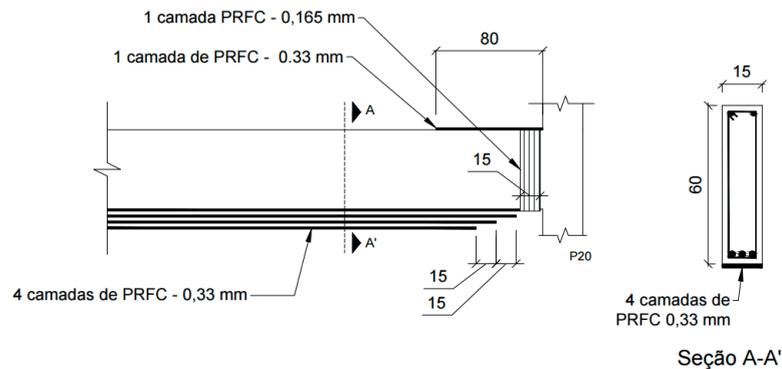


Figura 16 - Detalhe do reforço de um trecho da viga mais solicitada.

3.1.3 Dimensionamento da laje e do reforço à flexão

Na figura 17 são apresentados os diagramas de esforços solicitantes para a laje nas direções x e y, respectivamente, antes e após a modificação de uso.

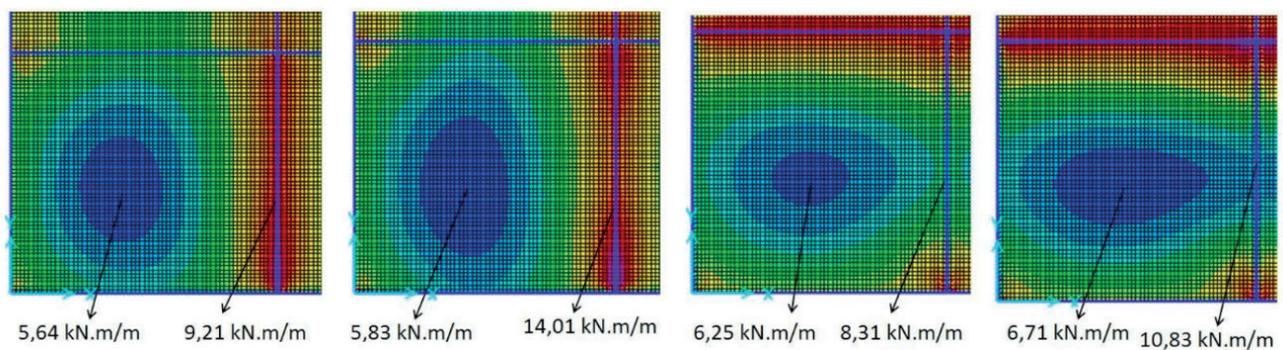


Figura 17a - Esforços solicitantes direção x.

Figura 17b - Esforços solicitantes direção y.

O dimensionamento das armaduras é apresentado na tabela 20 e o detalhamento na figura 18.

Armad.	Laje	<i>h</i>	<i>d</i> ''	<i>d</i>	<i>m_d</i>	<i>k_c</i>	β_x	<i>A_{s,calc}</i>	<i>A_{s,min}</i>	<i>S_{calc}</i>	Arranjo
		(cm)	(cm)	(cm)	(kN.m/m)	(cm ² /m)		(cm ² /m)	(cm ² /m)	(cm)	
Posit.	L110	12	2,5	9,5	5,64	16,00	0,066	1,169	1,2	16,33	φ5 c/ 16
		12	2,5	9,5	6,25	14,44	0,074	1,299	1,2	15,09	φ5 c/ 15
Negat.	L111/L105	12	2,0	10	8,3	12,03	0,089	1,982	1,2	15,74	φ6,3 c/ 15,5
	L110/L111	12	2,0	10	9,2	10,86	0,099	2,205	1,2	14,15	φ6,3 c/ 14

Tabela 20 – Dimensionamento da laje mais solicitada

O reforço foi calculado analogamente ao reforço de vigas, porém considerando faixas de um metro de largura. As propriedades do PRFC são as mesmas estipuladas para a viga.

As dimensões do reforço, quantidade e largura de camadas, nível de tensões atuantes, verificações da resistência à flexão, tensão de serviço e limite de ruptura à

fluência são determinadas pela tabela 21. O detalhamento do reforço é apresentado na figura 19.

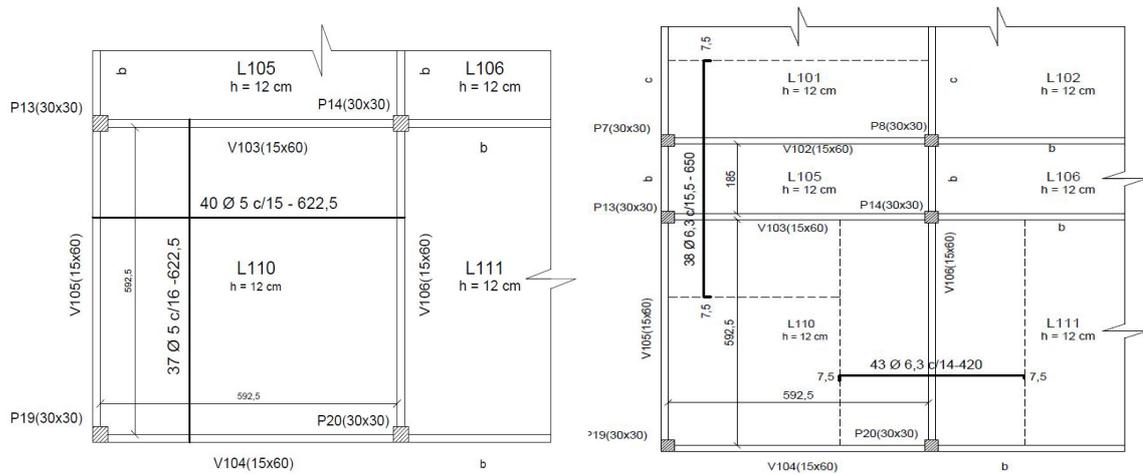


Figura 18a - Detalhe das armaduras negativas. Figura 18b - Detalhe das armaduras positivas.

Propriedades	Momentos Positivos		Momentos Negativos	
	m_{dx}	m_{dy}	$m'_{d(L110/L105)}$	$m'_{d(L110/L111)}$
A_s (cm ²)	1,23	1,31	2,01	2,23
M_u (kN.m)	5,83	6,71	10,83	14,01
n_f	1	1	1	1
w_f (cm ²)	5,0	5,0	5,0	12,0
f_s	500,00	500,00	500,00	500,00
f_{fe}	1522,51	1522,51	1522,51	1522,51
Verificação da resistência à flexão ($\Phi M_n \geq M_u$)				
M_u (kN.m)	5,8	6,7	10,8	14,0
M_{nf} (kN.m)	2,93	2,92	2,90	6,90
ΦM_n (kN.m)	7,28	7,61	10,85	14,75
Verificação da tensão de serviço ($f_{s,s} \geq 0,8f_y$)				
M_s (kN.m)	4,2	4,8	5,0	8,0
$f_{s,s}$ (MPa)	374,26	397,56	254,09	343,74
$0,8f_y$ (MPa)	400	400	400	400
Verificação limite de ruptura à fluência ($f_{f,s} \geq 0,8f_{tu}$)				
$f_{f,s}$ (MPa)	22,8	68,9	113,7	197,3
$0,55f_{tu}$ (MPa)	1980,28	1980,28	1980,28	1980,28

Tabela 21 – Nível de tensão e verificações de resistência para laje

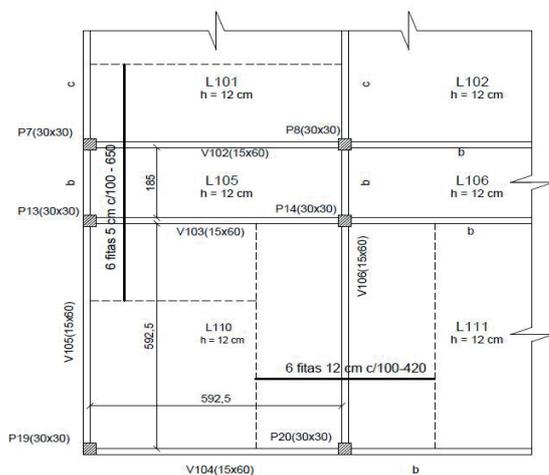


Figura 19a - Detalhe do reforço negativo.

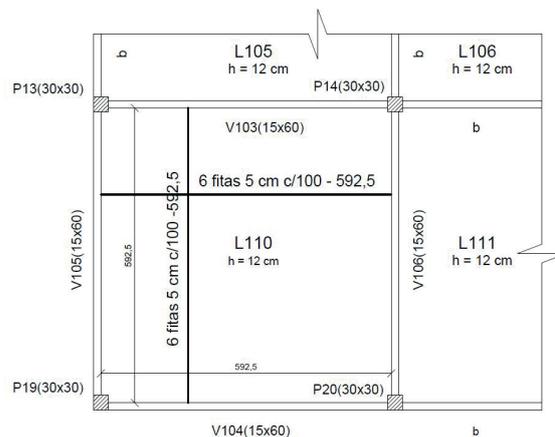


Figura 19b - Detalhe reforço positivo.

4 | CONCLUSÕES

O artigo apresentou um exemplo de dimensionamento com todos os detalhes necessários, servindo de roteiro para trabalhos futuros. Pode-se notar que o potencial do reforço de estruturas, em especial as de concreto armado, com PRFC é muito promissor, devido ao grande aumento de resistência que é alcançado com a aplicação de poucas camadas de reforço. Outro ponto importante está na pequena interferência arquitetônica que é gerada, como no caso do reforço do pilar, que teve um aumento de carga de 220,2 kN enquanto aumentou sua largura em apenas 3,30 cm (1,65cm de cada lado) após aplicado o reforço. Além disso, é possível realizar a aplicação de um revestimento de modo a melhorar ainda mais a estética da estrutura e não deixar o reforço aparente.

SIMBOLOGIA

A_c - área da seção transversal de concreto	r_c - raio das quinas de um seção prismática confinada com PRF
A_e - área da seção transversal efetivamente confinada do concreto	s_f - espaçamento entre tiras do reforço de PRF
A_f - área do reforço externo de PRF	t_f - espessura nominal de uma camada de reforço de PRF
A_{fv} - área do reforço ao corte de PRF com espaçamento s	V_c - resistência nominal ao corte da seção de concreto com armadura de aço

A_g - área da seção bruta de concreto	V_f - resistência nominal ao corte provida pelo PRF
A_s - área do aço da seção	V_n - resistência nominal ao corte
A_{st} - área total da armadura longitudinal	V_s - resistência nominal ao corte provida pelos estribos de aço
b - menor lado da seção do pilar - largura da face comprimida de um membro	w_f - largura das camadas de reforço com PRF
b_w - largura da alma ou diâmetro de uma seção circular	y_t - distância da linha neutra ao ponto de deformação
c - altura da linha neutra	α_1 - multiplicador de f'_c para determinar a intensidade da distribuição de uma tensão retangular equivalente no concreto
C_E - fator de redução ambiental	β_1 - relação da profundidade do bloco retangular equivalente de tensão em relação à profundidade da linha neutra
D - diâmetro equivalente da seção	ϵ_{bi} - nível de deformação no substrato de concreto por ocasião da instalação do PRF
d - distância da fibra comprimida até o centróide do reforço de tração	ϵ_c - deformação de compressão no concreto não confinado
d_f - profundidade efetiva do reforço de PRF à flexão	ϵ'_c - deformação máxima do concreto não confinado
d_{fv} - profundidade efetiva do reforço de PRF ao corte	ϵ_{ccu} - deformação última de compressão no concreto confinado
E_c - módulo de elasticidade do concreto	ϵ_{cu} - deformação axial última do concreto não confinado
E_f - módulo de elasticidade da fibra	ϵ_{fd} - deformação de descolamento de sistema PRF aderido externamente
E_s - módulo de elasticidade do aço	ϵ_{fe} - deformação efetiva de tração na fibra
E_2 - módulo de elasticidade tangente do concreto confinado	ϵ_{fu} - deformação máxima de tração na fibra
f_c - resistência à compressão do concreto	ϵ_{fu}^* - deformação de ruptura última do reforço de PRF
f'_c - resistência específica à compressão do concreto	ϵ_s - nível de deformação na armadura de aço
f'_{cc} - resistência à compressão do concreto confinado	ϵ_{sy} - deformação tração na armadura de aço
f_{fe} - tensão efetiva no PRF	ϵ'_t - deformação de transição na curva tensão-deformação do concreto confinado com PRF
f_{fu} - tensão última de tração de projeto do PRF	ϕ - coeficiente de ajuste das ações
f_{fu}^* - tensão última de tração do PRF informada pelo fabricante	
f_l - pressão lateral de confinamento	
f_s - tensão no aço da armadura	
f_y - tensão de escoamento do aço	

h - maior lado da seção do pilar - espessura ou altura do membro	k_a - coeficiente que considera a área efetivamente confinada
I_{cr} - momento de inércia da seção fissurada	k_b - coeficiente que considera a área efetivamente confinada
k - relação entre a profundidade da linha neutra e a profundidade da armadura	k_v - coeficiente de ajuste para cortante dependente da ligação
M_n - valor nominal do momento fletor	k_ε - coeficiente de ajuste
M_u - momento majorado na seção	ρ_g - taxa geométrica armadura longitudinal
n - número de camadas do reforço PRF	ψ_f - fator de redução de resistência do PRF
n_s - relação entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto	
P_n - valor nominal da força axial	

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures**: ACI 440.2R-08. Farmington Hills, 2008.

CONCRETE SOCIETY. **Design Guidance for Strengthening Concrete Structures Using Fibre Composite Materials**: a Review. Technical Report TR 55 (2012). 3 ed. 187 p.

LAM, L.; TENG, J. **Design-Oriented Stress-Strain Model for FRP-Confined Concrete in Rectangular Columns**. Journal of Reinforced Plastics and Composites, v. 17, pp. 471-489. 2003.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BETÓN (FIB). **Externally bonded FRP reinforcement for RC structures**. Bulletin N° 14. Technical Rep., Lausanne Switzerland, 2001.

ROCCA, S.; GALATI, N.; NANNI, A. **Interaction diagram methodology for design of FRP - confined reinforced concrete columns**. Construction and Building Materials 23, p.1508-1520, abr/2009.

SOUZA V. C. M.; RIPPER T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998. 257 p.

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