

# Engenharia de Construção Civil e Urbana

Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)



# Engenharia de Construção Civil e Urbana

Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora

Ano 2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Lorena Prestes  
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  
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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – 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  
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  
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 Pietrobom – 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. 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  
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  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### Ciências Biológicas e da Saúde

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 Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
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  
Profª Drª 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  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>Engenharia de construção civil e urbana [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-852-6 DOI 10.22533/at.ed.526191912</p> <p>1. Construção civil – Brasil. 2. Engenharia civil. I. Tullio, Franciele Braga Machado.</p> <p style="text-align: right;">CDD 624</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia de Construção Civil e Urbana” contempla dezoito capítulos com abordagens sobre as mais recentes pesquisas relacionadas a construção civil e modificação do ambiente urbano. A utilização de novas tecnologias, desenvolvimento de novos materiais promovem um avanço na construção civil, permitindo a execução de novas construções, promovendo a reutilização de diversos materiais que antes eram descartados. O uso de ferramentas computacionais permite um maior controle e gerenciamento de obras, proporcionando uma melhor compatibilização de projetos, e evitando diversos problemas na sua execução. Existem aplicativos que permitem realizar o dimensionamento de diversos elementos, contribuindo para a agilidade na execução de projetos. O estudo sobre o comportamento de materiais utilizados na construção civil permite o desenvolvimento de novas soluções, bem como o aprimoramento de sistemas construtivos existentes, proporcionando maior qualidade, eficiência e segurança às obras. A utilização de resíduos de construção e desenvolvimento de materiais, têm sido amplamente utilizados e além de gerar novas soluções, resulta em benefícios ao meio ambiente. Da mesma forma, o uso da eficiência energética também tem sido utilizado em busca de soluções sustentáveis. Ante ao exposto, esperamos que esta obra proporcione ao leitor uma leitura agradável e traga conhecimento técnico, contribuindo para uma reflexão sobre os impactos que as pesquisas geram na engenharia de construção civil e urbana, e que seu uso possa trazer benefícios a sociedade.

Franciele Braga Machado Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO EM LINGUAGEM PYTHON PARA ANÁLISE DE ESTRUTURAS UTILIZANDO O MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS	
Amanda Isabela de Campos	
DOI 10.22533/at.ed.5261919121	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>16</b>
IMPLANTAÇÃO DO BIM EM UMA EMPRESA DE PEQUENO PORTE – ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA JÚNIOR	
Rafael Braida Ribeiro	
Maurício Leonardo Aguilar. Molina	
DOI 10.22533/at.ed.5261919122	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>28</b>
VARIAÇÃO DE CALOR EM UMA PLACA: ANÁLISE EXPERIMENTAL E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	
Fábio Gaspar Santos Júnior	
Ana Carolina Carius	
Mariana Anastácia de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.5261919123	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>40</b>
UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA BIM PARA ELABORAÇÃO E EXECUÇÃO DE PROJETOS NA CIDADE DE ALFENAS-MG	
Leonardo Avelar Pereira	
Laísa Cristina Carvalho	
Iago Bernardes dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.5261919124	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>56</b>
APLICATIVOS DE SMARTPHONE COMO FERRAMENTA PARA O GERENCIAMENTO DE OBRAS	
Francisco Diego Bezerra Soares	
Guilherme Álvaro Rodrigues Maia Esmeraldo	
DOI 10.22533/at.ed.5261919125	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>69</b>
A ABORDAGEM <i>DESIGN THINKING</i> NO CURSO DE ENGENHARIA: UMA EXPERIÊNCIA NO DESAFIO DE CRIAR E INOVAR NA COMPLEXIDADE DO ENSINO E APRENDIZAGEM DA DISCIPLINA DE CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL	
Gilselene Garcia Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.5261919126	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>86</b>
INFLUÊNCIA DA COLAGEM DE LAMINADOS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV) NO REFORÇO DE LIGAÇÕES VIGA-PILAR DE ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	
Juliana Penélope Caldeira Soares	
Nara Villanova Menon	
DOI 10.22533/at.ed.5261919127	

<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>101</b>
MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO: UM ESTUDO SEMI PROBABILÍSTICO E SEUS DESDOBRAMENTOS	
Ana Carolina Carius	
Leonardo de Souza Corrêa	
Vinícius Costa Furtado da Rosa	
Alex Justen Teixeira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5261919128</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>115</b>
STUDY OF THE DURABILITY OF COMPOSITES OF EUCALYPTUS CELLULOSE FIBER STERIFIED FOR CEMENT MATRIX REINFORCEMENT	
Laís Fernanda dos Santos Marques	
Leila Aparecida de Castro Motta	
Rondinele Alberto dos Reis Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5261919129</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>121</b>
CONTROLE TECNOLÓGICO DA ARGAMASSA POR MEIO DE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
Amanda Regina de Souza Macedo	
David Edson Macedo Palhares	
Ariadne de Souza e Silva	
Rafael Alexandre Raimundo	
Cleber da Silva Lourenço	
Ruan da Silva Landolfo	
Uilame Umbelino Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191210</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>132</b>
A IMPORTÂNCIA DO EMPREGO DE MATERIAIS RETARDANTES AO FOGO NAS GALERIAS COMERCIAIS DA CIDADE DE JUIZ DE FORA	
Jenifer Pungirum Quaglio	
Maria Teresa Barbosa	
Wendell Albuquerque	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191211</b>	
<b>CAPÍTULO 12 .....</b>	<b>149</b>
CONTRIBUIÇÕES PARA A UTILIZAÇÃO DE ENERGIA GEOTÉRMICA NO BRASIL	
Adriana Coelho Vieira	
Brunno Daibert Andrès	
Luis M. Ferreira Gomes	
Peter Kallberg	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191212</b>	
<b>CAPÍTULO 13 .....</b>	<b>166</b>
ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO SIMPLES COM ADIÇÃO DE CINZA DE CANA-DE-AÇÚCAR	
Ítalo Diego e silva morais	
Ariele Rebeca Martins ribeiro	
Francisco Willian Policarpo de Albuquerque	
Walber Alves Freitas	
Francisca Lucivania policarpo de Albuquerque	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191213</b>	

<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>177</b>
ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE USINA RECICLADORA DE RESÍDUOS DE CONCRETO NA INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE MOSSORÓ/RN	
Adeirton Gois de Lima	
Francisco Herikleptom Mariano da Costa	
Lucas Allan Saldanha dos Santos	
Hannah Lerissa Hydaradaya Moura Santos de Farias	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191214</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>188</b>
COMPORTAMENTO DE BLOCOS DE TRANSIÇÃO COM PERFIL METÁLICO <i>Behavior of steel pile cap</i>	
Rodrigo Gustavo Delalibera	
Marcell Godoi Sivelli	
José Samuel Giongo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191215</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>206</b>
ESTUDO COMPARATIVO DA ASSOCIAÇÃO DE MEMBROS DE TRELIÇAS ISOSTÁTICAS	
Francisca Ires Vieira de Melo	
Leonardo Henrique Borges de Oliveira	
Layane Silva de Amorim	
Lourena Barbosa Cavalcante Paiva	
Sara Fernandes Rocha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191216</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>225</b>
FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS ALTOS SEGUNDO DUAS VERSÕES: A SUGERIDA PELA NBR 6123/1988 E OUTRA SIMPLIFICADA	
Marcus Vinicius Paula de Lima	
Nara Villanova Menon	
Maicon de Freitas Arcine	
Juliana Penélope Caldeira Soares	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191217</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>240</b>
COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO SUBMETIDOS À COMPRESSÃO DE ACORDO COM A NBR 14762:2010	
Amanda Isabela de Campos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52619191218</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>260</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>261</b>



## INFLUÊNCIA DA COLAGEM DE LAMINADOS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV) NO REFORÇO DE LIGAÇÕES VIGA-PILAR DE ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

**Juliana Penélope Caldeira Soares**

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil Maringá, PR

**Nara Villanova Menon**

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil Maringá, PR.

**RESUMO:** A utilização de polímeros reforçados com fibras (PRF) influencia nos reforços das ligações viga-pilar em estruturas de concreto pré-moldado. Este trabalho utilizou a colagem de laminados de polímeros reforçados com fibra de vidro (PRFV) em entalhes no concreto de cobertura. Para o estudo foram realizadas análises computacionais através do software ABAQUS, que permitiram avaliar a contribuição do reforço à rigidez na ligação pré-moldada viga-pilar. Realizou-se o cálculo da estabilidade global com a nova rigidez, com o objetivo de quantificar a melhoria fornecida pela utilização do reforço. De acordo com os resultados, pode-se afirmar que com o reforço, a ligação apresentou comportamento semirrígido e adquiriu uma melhoria à flexão se comparado à estrutura articulada de concreto armado convencional. Observou-se que, ao considerar a semirrigidez que o reforço proporciona na ligação ocorreu um significativo aumento na estabilidade global da estrutura, além de uma redução considerável dos momentos fletores

na base dos pilares mais solicitados.

**PALAVRAS-CHAVE:** concreto pré-moldado, reforço estrutural, PRFV.

### INFLUENCE OF THE BONDING OF GLASS FIBRE REINFORCED POLYMER LAMINATES (GRP) IN THE REINFORCEMENT OF BEAM-PILLAR CONNECTIONS OF PRECAST CONCRETE STRUCTURES

**ABSTRACT:** The use of fiber-reinforced polymers (FRP) influences the reinforcement of the beam-pillar connections in precast concrete structures. This work used the bonding of fiberglass-reinforced polymer (GFRP) laminates to indentations in the covering concrete, according to the technique known as near-surface mounted (NSM), to incorporate new resistant elements to the connection to assess the overall stability of the structure. For the study, computational analyses were performed using the ABAQUS software, which allowed the evaluation of the contribution of the reinforcement to the stiffness in the precast beam-column connection. The overall stability with the new stiffness was then calculated to quantify the improvement provided by the use of the reinforcement. According to the results, it can be stated that with the reinforcement, the bonding presented semi-rigid behavior and acquired an improvement in flexion compared to the conventional reinforced concrete articulated

structure. It was observed that when considering the semi-rigidity that the reinforcement provides in the connection, a significant increase in the overall stability of the structure occurred, as well as a considerable reduction of the bending moments at the base of the most requested columns.

**KEYWORDS:** precast concrete, structural reinforcement, GR

## 1 | INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil é um setor que vem se desenvolvendo muito nos últimos anos e, juntamente a isso, a busca por prazos cada vez menores na construção aumentou, fazendo com que o setor procure novas soluções para atender a essa velocidade. Desta forma, surge o conceito de industrialização da construção civil. A industrialização e racionalização dos processos da construção civil já deixaram de ser tendência, para se tornar uma realidade, a qual oferece um ganho de qualidade e velocidade na produção.

De acordo com Fonseca (2007), o caminho para a racionalização da construção civil é o uso da técnica do pré-moldado. Porém, o potencial desta técnica é ainda pouco explorado. Segundo Ordóñez et al (1974), a influência das ligações na construção de concreto pré-moldado é tão grande que alguns especialistas afirmam que essa dificuldade de projeto e ligação é que tem impedido a substituição do uso dos métodos construtivos convencionais pelo sistema construtivo em concreto pré-moldado.

A estabilidade global de estruturas pré-moldadas sofre grande influência de suas ligações, o qual deixa o uso do concreto pré-moldado em edificações de múltiplos pavimentos em desvantagem pois, com o objetivo de garantir a estabilidade global em edificações pré-moldadas, utiliza-se elementos com dimensões mais robustas. Para edificações de pequena altura, essa solução é economicamente plausível. Contudo, para edifícios de múltiplos pavimentos, a estabilidade global não pode ser garantida apenas com pilares de dimensões mais avantajadas, tornando a estrutura inviável do ponto de vista econômico.

A utilização de ligações não articuladas viabiliza a utilização de concreto pré-moldado, pois reduz os custos à medida que as dimensões dos pilares diminuem. Porém o enrijecimento das ligações torna o processo de construção em concreto pré-moldado mais demorado, sendo que a velocidade desse sistema construtivo é uma de suas grandes vantagens comparada a outros sistemas (MIGLIORE, 2005)

Segundo Fonseca (2007), diante deste cenário, a utilização do polímero reforçado com fibra de vidro como reforço, através da técnica NSM (Near Surface Mounted), de ligações viga-pilar torna-se uma solução muito atrativa à primeira vista para que o concreto pré-moldado se torne uma alternativa para as construções de edifícios de múltiplos pavimentos. Sua execução rápida e simples permitiria o estabelecimento de continuidade à flexão nas ligações sem prejuízo à principal característica e vantagem do sistema em concreto pré-moldado: a velocidade.

Diante do aspecto promissor da técnica, decidiu-se avaliar neste artigo sua eficiência no incremento de estabilidade global da estrutura a partir do aumento da resistência à flexão de ligações viga-pilar de estruturas de concreto pré-moldado. Duas aplicações podem ser exploradas: como reforço ou como recurso de projeto de novas estruturas.

Uma vez constatada sua eficiência, o reforço de ligações viga-pilar em concreto pré-moldado serviria para a reabilitação de estruturas em concreto pré-moldado que apresentassem comportamento global insatisfatório com relação a deslocamentos laterais excessivos. Além disso, poderia também aumentar a versatilidade das estruturas, viabilizando reformas e ampliações. Já do ponto de vista de novos projetos, o reforço de PRF se prestaria ao dimensionamento de elementos mais esbeltos, afim de viabilizar o emprego do sistema construtivo de concreto pré-moldado em edifícios de múltiplos pavimentos. No presente artigo deu-se enfoque aos polímeros reforçados com fibras de vidro (PRFV), sendo este um material mais dúctil e mais econômico que o polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC).

## 2 | COMPÓSITOS DE PRF

De acordo com Menon (2008), o uso de materiais compostos de PRF, ou fiber reinforced polymers (FRP), iniciou-se na indústria naval, aeroespacial e automobilística na década de 30. Já as tentativas de uso do PRF para reforçar elementos de concreto foram realizadas a partir de 1950, e a primeira comercialização de PRF para concreto deu-se em 1970.

A nível mundial, o uso de materiais compostos de PRF passou a ser estudado por motivos específicos em algumas regiões: no Japão, por interesse na pré-fabricação e reforço a sismos; na América do Norte motivada pela solução de problemas de durabilidade de pontes, e na Europa, visando a reabilitação e preservação de patrimônios históricos. (JUVANDES, 1999)

A Figura 1 mostra um gráfico comparativo das características mecânicas e físicas do PRF com materiais tradicionais, como o aço e o alumínio, muito utilizados na construção civil.

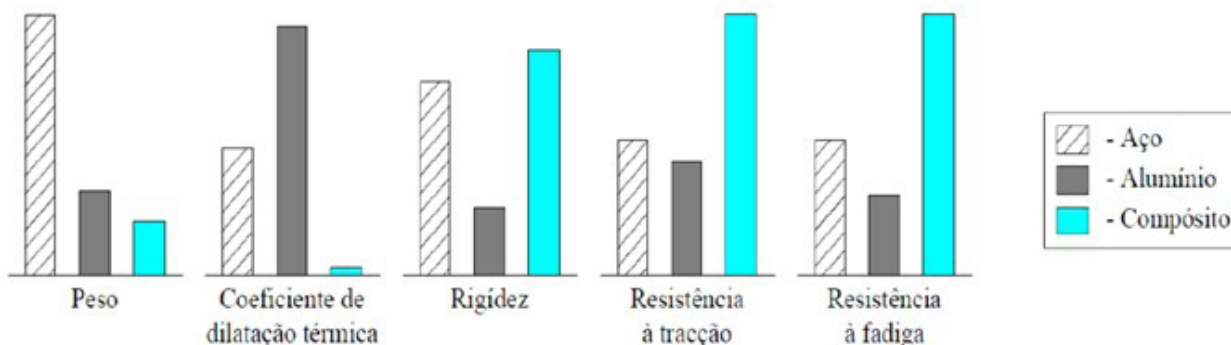


Figura 1 – Comparação entre Compósito de PRF e aço e alumínio

Fonte: Taly (1998), apud Juvandes (2002)

Os compósitos abordados no presente artigo são constituídos por fibras envoltas em uma matriz polimérica. E as fibras mais utilizadas no ramo da engenharia civil são as fibras de aramida, de carbono e de vidro que, a partir dessas, constroem-se os respectivos reforços denominados AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer), CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) e GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer).

De acordo com Micali (2010) as fibras de vidro são o material mais utilizado como reforço de compósitos e possuem muitos aspectos positivos, como o baixo custo, alta resistência à tração, baixo coeficiente de dilatação térmica, entre outras.

No reforço de estruturas de concreto, a colagem externa de mantas e laminados pré-fabricados de PRF já são técnicas consolidadas e possuem recomendação internacional como FIB (2001) e ACI 440.2R-02 (2002), porém apresentam algumas desvantagens como, sensibilidade a temperaturas elevadas, pouco acréscimo de rigidez no elemento reforçado, entre outras. (FORTES, 2004)

Uma técnica recente que soluciona essas questões é a colagem de laminados em entalhes realizados no concreto de cobertura, mais conhecida como NSM (Near Surface Mounted), a qual faz com que o reforço fique mais protegido com relação ao fogo, raios ultravioletas e outras ações que possam degradar o material. Além disso, essa técnica não altera as dimensões iniciais do elemento.

### 3 | LIGAÇÕES EM ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO

As ligações são as principais partes no projeto de uma estrutura pré-moldada, tanto para a produção da estrutura, quanto para o comportamento final da mesma. Ao mesmo tempo que as estruturas em concreto pré-moldado apresentam facilidade de execução de seus elementos, o sistema enfrenta um problema ao realizar as ligações dos mesmos. De acordo com El Debs (2000), as ligações têm extrema importância no comportamento da estrutura que, ao se executar ligações simples, pode acarretar em estruturas mais solicitadas ao momento fletor. Por outro lado, as ligações que

tendem a reproduzir o comportamento de estruturas monolíticas, ou seja, que ocorra a transmissão de momentos fletores entre os elementos, requerem mais trabalho, reduzindo assim as vantagens do sistema construtivo em concreto pré-moldado. Segundo Fonseca (2007), como a velocidade é uma das principais vantagens do concreto pré-moldado, a opção por ligações simples passa a ser mais conveniente, porém, restringe a escolha do sistema em concreto pré-moldado a edificações de pequena altura, com limite referencial de 12 metros.

Acima dessa altura, as ações laterais passam a ser mais significativas, os momentos fletores nas bases dos pilares se tornam elevados e suas seções injustificáveis do ponto de vista econômico. O autor ainda afirma que o desenvolvimento de ligações resistentes à flexão e de execução simples ainda é um desafio. A dificuldade de execução de uma ligação mais rígida se deve à necessidade de se realizar a ligação tanto do concreto como do aço.

É prática comum em escritórios de projeto a especificação de ligações rígidas ou articuladas idealizando que estas sejam capazes de permitir ou, no caso das ligações rígidas, restringir por total das rotações entre as peças. Porém, de acordo com Miotto (2002), as ligações em geral não se comportam da forma considerada na análise estrutural. O autor ainda afirma que as ligações classificadas como articulações frequentemente possuem uma certa rigidez à flexão e resistência. E as classificadas como rígidas podem apresentar deformações à flexão e ao cisalhamento de maneira considerável. Sendo assim, as ligações entre elementos pré-moldados são denominadas semirrígidas por apresentarem uma certa deformabilidade quando solicitadas. A concepção de cálculo usualmente adotada pode ser efetiva para uma grande parcela de estruturas de concreto pré-moldado, mas seguramente não é a mais econômica. Por isso, o estudo do incremento de rigidez na ligação viga-pilar pode levar a uma considerável economia para as estruturas pré-moldadas. Esse incremento pode ser definido pelo parâmetro fator de restrição  $\alpha_R$ , conforme Figura 2, que segundo a norma ABNT NBR 9062/2017, se dá pela razão entre a rotação da extremidade do elemento  $\theta_1$  e a rotação combinada do elemento e da ligação,  $\theta_2$ , devido ao momento de extremidade.

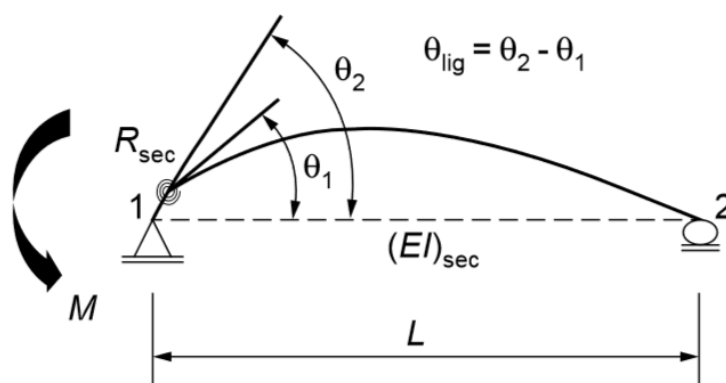


Figura 2 - Fator de restrição à rotação

O fator de restrição varia de 0 a 1, e pode ser calculado em função do fator de rigidez relativa entre a rigidez da ligação e a rigidez do elemento por ela conectado, conforme a equação 1 a seguir:

$$\alpha_R = \frac{\theta_1}{\theta_2} = \left[ 1 + \frac{3(EI)_{SEC}}{R_{SEC} L_{EF}} \right]^{-1} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

- $R_{SEC}$  é a rigidez secante ao momento fletor da ligação viga-pilar;
- $(EI)_{SEC}$  é a rigidez secante da viga considerada na análise estrutural;
- $L_{EF}$  é o vão efetivo entre os centros de giros nos apoios da viga;
- $\theta_1$  é a rotação da viga;
- $\theta_2$  é a rotação combinada da viga e da ligação;

A rigidez secante ao momento fletor da ligação viga-pilar é definida pela relação momento-rotação. De acordo com a norma NBR 9062/2017, a resposta não linear das ligações pode ser feita com base na análise linear, utilizando a rigidez secante  $R_{SEC}$ , conforme mostrado na Figura 3 a seguir:

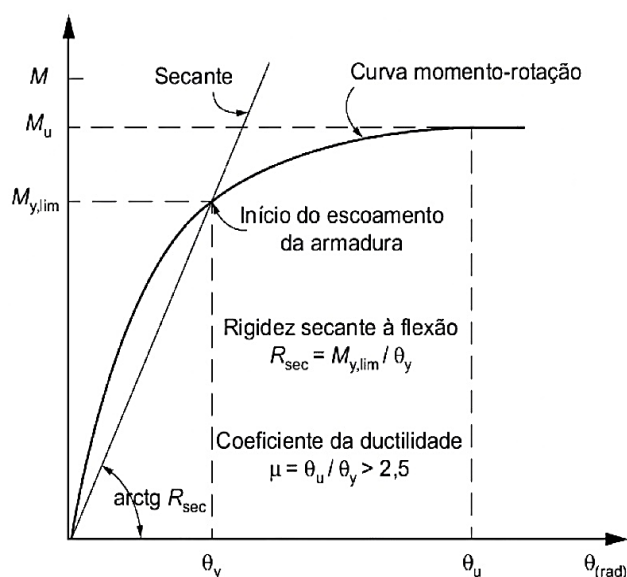


Figura 3 – Curva momento-rotação

Fonte: ABNT NBR 9062 (2017)

A partir do conceito do fator de restrição, Tabela 1, Ferreira et al (2002)

apresentaram uma proposta de classificação das ligações semirrígidas de estruturas pré-moldadas em cinco zonas diversas.

Zonas	Fator de restrição $\alpha_R$	Classificação das Ligações
Zona I	$0 \leq \alpha_R < 0,14$	Articuladas
Zona II	$0,14 \leq \alpha_R < 0,40$	Semirrígidas com Restrição Baixa
Zona III	$0,40 \leq \alpha_R < 0,67$	Semirrígidas com Restrição Média
Zona IV	$0,67 \leq \alpha_R < 0,86$	Semirrígidas com Restrição Alta
Zona V	$0,86 \leq \alpha_R < 1$	Perfeitamente Rígidas

Tabela 1 – Classificação das Ligações Semi-Rígidas em Estruturas Pré-Moldadas

Fonte: FERREIRA et al.(2002)

#### 4 I ESTABILIDADE GLOBAL EM ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS

De acordo com Ferreira et al (2005), nas estruturas em concreto pré-moldado, com ligações articuladas, a estabilidade global depende da rigidez dos pilares em balanço, os quais estão engastados na base, e também do grau de rigidez da ligação viga-pilar. Para El Debs (2000) ao se analisar a estabilidade global de uma estrutura pré-moldada, pode-se empregar os mesmos procedimentos das estruturas de concreto moldado no local. Realmente, após a montagem, a particularidade das estruturas de concreto pré-moldado em relação às estruturas de concreto moldado no local consiste no emprego de articulação ou ligações com certa deformabilidade, que podem ser consideradas nos procedimentos de verificação da estabilidade global. No caso de se empregar ligações praticamente rígidas não existem diferenças em relação ao caso das estruturas de concreto moldado no local.

Para se analisar a rigidez dos elementos, deve-se adotar métodos simplificados para tal, e um deles é o coeficiente  $\gamma_z \gamma_z$ , o qual é válido para a análise da instabilidade da estrutura, que é determinado a partir dos resultados de deslocamento de primeira ordem, considerando o efeito das ligações semirrígidas na estrutura pré-moldada. (NBR 9062, p.14).

O valor do coeficiente  $\gamma_z \gamma_z$  é dado pela equação 2 a seguir:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$M_{1,tot,d}$  é o momento de tombamento referente ao pilar equivalente da estrutura analisada;

$\Delta M_{tot,d}$  é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos na análise de 1ª ordem.

Caso o valor de  $\gamma_z$  seja menor que 1,10, não há necessidade de consideração de efeitos de segunda ordem.

## 5 | MODELAGEM E ANÁLISE NUMÉRICA – ESTUDO DE CASO

Para o estudo da melhoria da estabilidade global da estrutura a partir do aumento da rigidez da ligação viga-pilar com reforço de PRFV, utilizou-se os softwares de análise estrutural Simulia Abaqus 6.12 e o software SAP2000.

Primeiramente, modelou-se um pórtico em concreto armado pré-moldado de um pavimento, com 3 metros de altura, com vão de 5 metros entre eixos de pilares. Os pilares possuíam seção de 20x40cm com dente gerber e a viga seção de 20x50 cm, também com dente gerber, simplesmente apoiada. Toda a estrutura foi dimensionada com um  $f_{ck}=25$  MPa.

Para a malha utilizada no elemento sólido 3D de concreto foram utilizados elementos C3D8R (elemento de oito nós tipo “brick” com integração reduzida). Já para as armaduras longitudinais de aço CA-50 foram modeladas por meio do elemento WIRE 3D com elemento do tipo TRUSS com 2 nós (T3D2). Para a interação do concreto com o aço, utilizou-se a função “Constraint” como região embutida (Embedded region). Como é possível ver na Figura 4 a seguir:



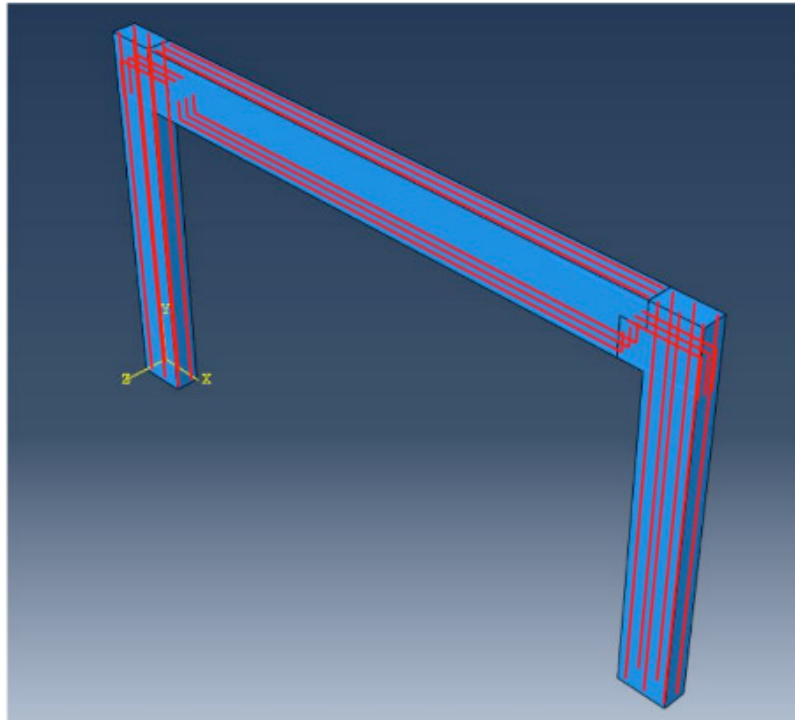


Figura 4 – Pórtico modelado no ABAQUS

Fonte: Soares (2018)

Em seguida, realizou-se o reforço das ligações viga-pilar com laminados de PRFV, as quais também foram modeladas por meio do elemento WIRE 3D com elemento do tipo TRUSS com 2 nós (T3D2), de acordo com o esquema a seguir:

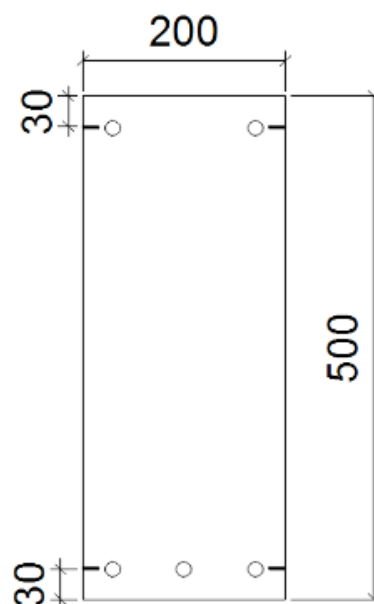


Figura 5 – Viga reforçada com laminado de PRFV

Fonte: Soares (2018)

As ações utilizadas na análise estrutural seguiram as prescrições da norma ABNT

NBR 6120/1980 estão descritas na Tabela 2 a seguir:

Nome	Valor	Tipo
Peso próprio da laja alveolar h=15cm	2,40 kN/m <sup>2</sup>	Ação Permanente (g)
Peso próprio capeamento h=5cm	1,50 kN/m <sup>2</sup>	Ação Permanente (g)
Peso próprio revestimento	1,50 kN/m <sup>2</sup>	Ação Permanente (g)
Peso próprio alvenaria	2,70 kN/m	Ação Permanente (g)
Sobrecarga utilização	5,00 kN/m <sup>2</sup>	Ação variável (q)
Vento	0,80 kN/m <sup>2</sup>	Ação variável (w)

Tabela 2 – Ações utilizadas na análise estrutural

A combinação das ações foi feita de acordo com as recomendações da norma brasileira NBR 6123/1988, e é mostrada a seguir:

$$F_d = 1,4 \cdot g + 1,4 \cdot q + 1,4 \cdot 0,6 \cdot w \quad (\text{Equação 3})$$

A partir disso, foram encontrados os resultados referentes à rotação da estrutura, a fim de encontrar o fator de restrição da ligação viga-pilar, as figuras 6 e 7 a seguir, mostram as armaduras deformadas com e sem o reforço da ligação.

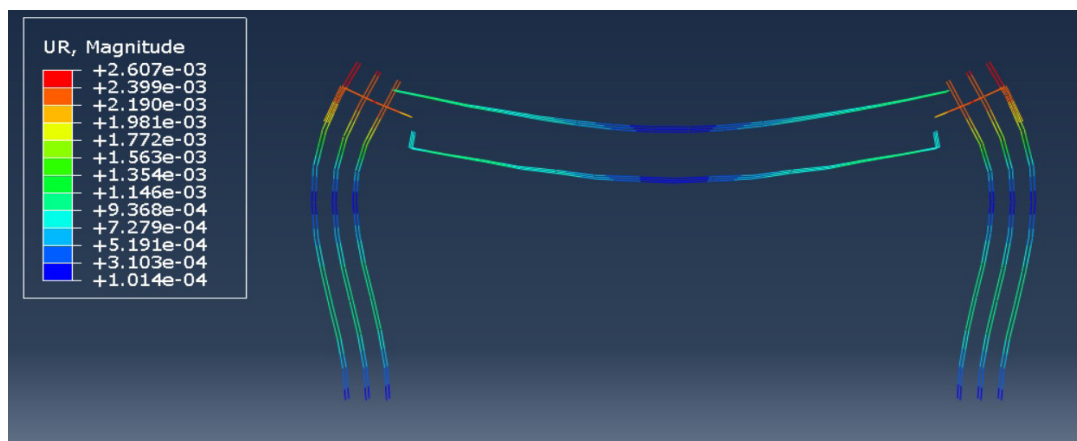


Figura 6 – Rotação do pórtico articulado

Fonte: Soares (2018)

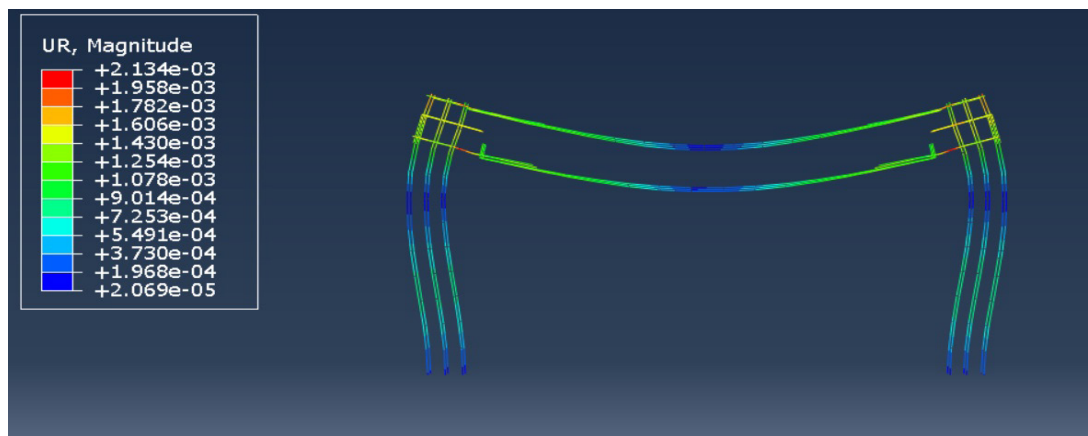


Figura 7 – Rotação do pórtico com ligação reforçada

Fonte: Soares (2018)

A partir dos resultados, foi possível perceber uma redução da rotação da estrutura e conseqüentemente um aumento no fator de restrição. Os valores de rotação, fator de restrição e o  $R_{sec}R_{sec}$  calculado, estão listados na Tabela 3.

	$\theta_1(\text{rad})$	$\theta_2(\text{rad})$	$\alpha_R = \frac{\theta_1}{\theta_2}$	$R_{sec}$ (kN.m/rad)
Ligação simplesmente apoiada	$7,279 \times 10^{-4}$	$2,19 \times 10^{-3}$	0,33	12.929,11
Ligação reforçada com PRFV	$1,43 \times 10^{-3}$	$2,134 \times 10^{-3}$	0,67	53.295,5

Tabela 3 – Rotação do pórtico com ligação reforçada

Fonte: Soares (2018)

Em seguida, modelou-se um pórtico de três pavimentos, com 9 metros de altura total, e com vãos de 5 metros, no software de análise estrutural SAP2000 conforme a situação esquemática da Figura 8:

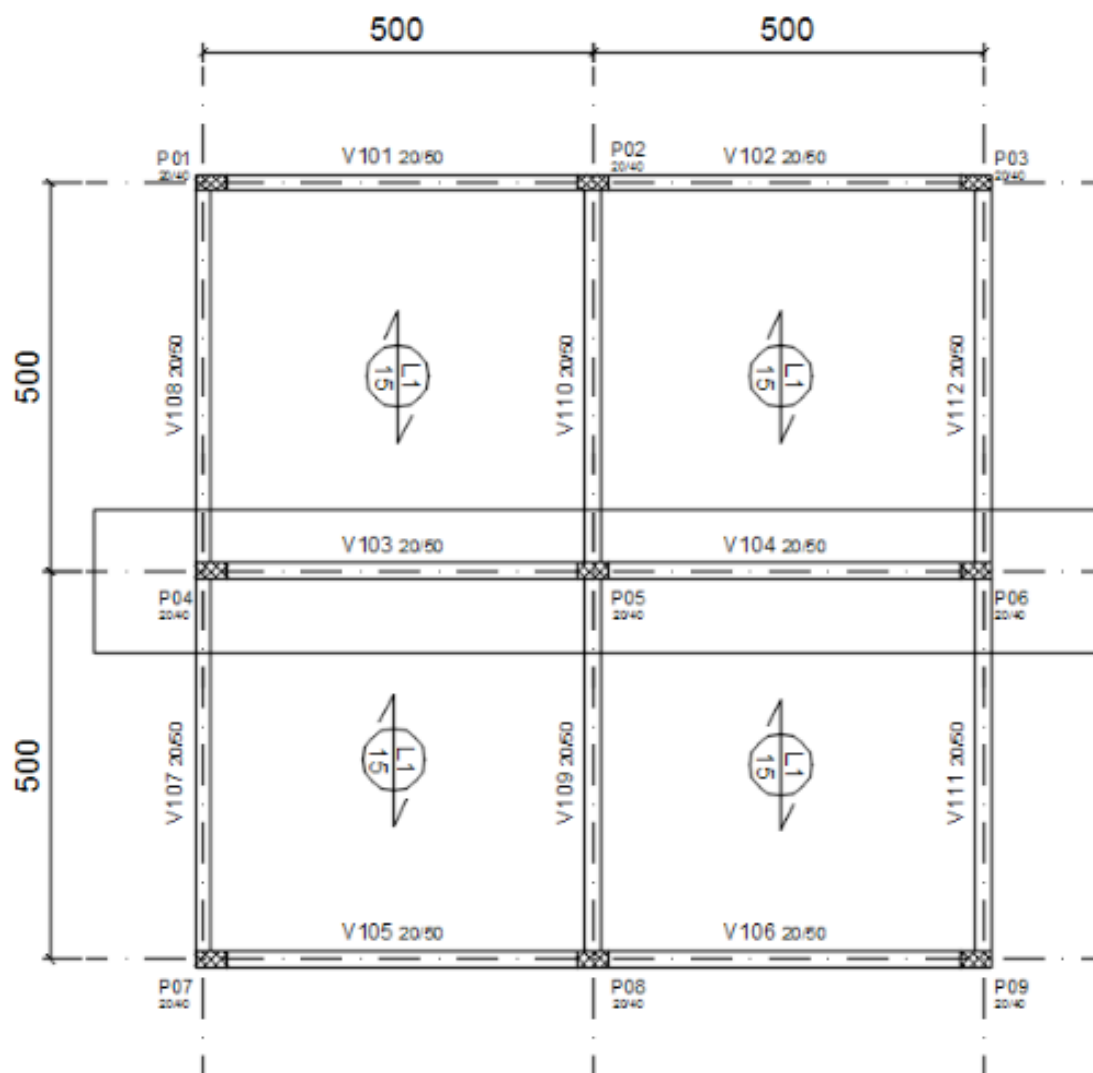


Figura 8 – Planta baixa do pórtico a ser analisado

Fonte: Soares (2018)

As propriedades e dimensões dos elementos, além das sobrecargas, foram as mesmas utilizados no software ABAQUS. A comparação entre os diagramas de momento fletor entre o pórtico com ligação articulada e o pórtico com ligação reforçada com barras de PRFV estão expostas na Figura 9.

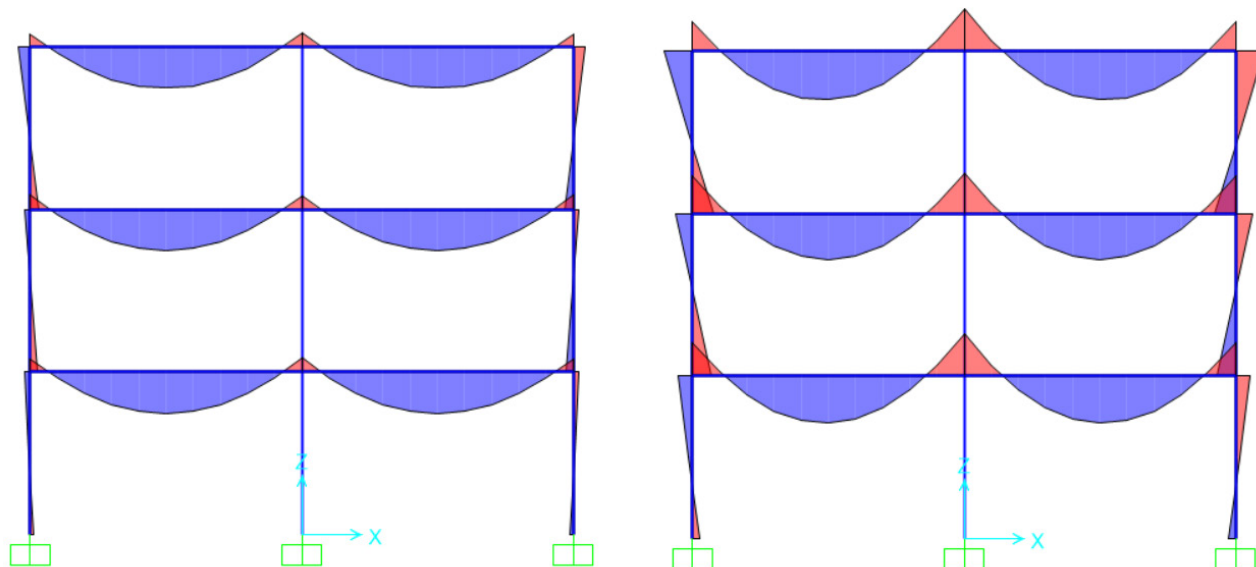


Figura 9 – Diagrama de momento fletor com  $\alpha_R = 0,33$  e com  $\alpha_R = 0,67$

Fonte: Soares (2018)

A análise estrutural no SAP2000 apresentou uma diminuição no coeficiente da estabilidade global  $\gamma_z$  ao se aumentar o coeficiente de restrição, através do  $R_{SEC}$ . O coeficiente de instabilidade  $\gamma_z$  passou de 1,10, para o pórtico onde as ligações viga-pilar estão simplesmente apoiadas, para 1,06 para o pórtico com o reforço de PRFV nas ligações. Também verificou-se uma redução de 20% no valor do momento fletor atuante na base do pilar central.

## 6 | CONCLUSÃO

No presente artigo, estudou-se o desempenho estrutural de um edifício de pequena altura em função da variação do grau de rigidez da ligação viga-pilar devido ao reforço da mesma com laminados de PRFV (polímero reforçado com fibra de vidro). A partir dos resultados encontrados, nota-se uma considerável melhoria na estabilidade global da estrutura, na diminuição do momento fletor na base do pilar intermediário em 20%, redução dos deslocamentos horizontais do pórtico e redistribuição de esforços. Em consequência dos resultados obtidos, é possível reduzir a seção dos pilares, trazendo economia para o sistema construtivo.

Porém, vale ressaltar que o estudo foi realizado a partir de simulações numéricas, que devem ser validados por estudos experimentais para que seja possível afirmar o aspecto promissor do uso da técnica NSM com laminados de PRFV no reforço de ligação viga-pilar de concreto pré-moldado.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120: Cargas para o cálculo de**

**estruturas de edificações.** Rio de Janeiro, 1980. 6 p.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações.** Rio de Janeiro, 1988. 66 p.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro, 2006. 86 p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 440. **ACI 440.2R-02: Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures,** 2002.

EL DEBS, M.K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações.** São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos/USP – projeto REENGE, 2000.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON. FIB: **Externally bonded FRP reinforcement for RC structures – Design and use of externally bonded fibre reinforced polymer reinforcement (FRP EBR) for reinforced concrete structures.** CEB-FIP-group 9.3, Stuttgart, 2001.

FERREIRA, M.A.; EL DEBS, M.K.; ELLIOTT, K.S. (2002). **Modelo Teórico para Projeto de Ligações Semi-Rígidas em Estruturas de Concreto Pré-Moldado.** In: Anais do 44º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - IBRACON, Belo Horizonte, MG. Anais. São Paulo: IBRACON.

FERREIRA, M.A. et al (2005). **Estabilidade Global De Estruturas Pré-Moldadas : Efeito Das Ligações Semi-Rígidas.** 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado (Vol. 1).

FONSECA, T. C. C. S. **Reforço e incremento da rigidez à flexão de ligações viga-pilar de estruturas de concreto pré-moldado com polímero reforçado com fibra de carbono (PRFC).** 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FORTES, A.S. **Estruturas de concreto submetidas à flexão reforçadas com laminados de PRFC colados em entalhes.** 2004. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

JUVANDES, L. F. P. **Reforço e reabilitação de estruturas de betão usando materiais compósitos de “CFRP”.** 1999. Tese (Doutorado), Universidade do Porto, Porto – Portugal, 1999.

MENON, N.V. **Estudo Experimental de Sistemas de Reforço ao Cisalhamento em Vigas de Concreto Armado Utilizando-se Polímero Reforçado com Fibras de Carbono (CFRP).** Tese Doutorado em Estruturas 327f. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2008.

MICALI, R. M. **Análise Teórica de Vigas Pré-Moldadas de Concreto com Armadura de Aço e de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro em Meio Altamente Agressivo.** 2010. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

MIGLIORE JUNIOR, A. R. **Edifício Pré-moldado com Ligação Rígida.** In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1.;** 2005, Anais de Congresso, São Carlos. 2005.

MIOTTO, A. M. **Ligações viga-pilar de estruturas de concreto pré-moldado: análise com ênfase na deformabilidade ao momento fletor.** 2002. 263f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

ORDÓÑEZ, J. A. F.; **Prefabricación: teoría y práctica.** Barcelona, Editores Técnicos Asociados. 1974.

SOARES, J. P. C. **Influência da Colagem de Laminados de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) no Reforço de Ligações Viga-Pilar de Estruturas de Concreto Pré-moldado**, VIII Seminário de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UEM, Maringá, Paraná , ISSN -2237-8219 22/10 a 14/11/2018.

## **SOBRE O ORGANIZADORA**

**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO** Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Ação do vento 225, 226, 228, 229, 230, 235  
Algoritmo 1, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 240, 251, 254, 258  
Análise estrutural 1, 2, 4, 9, 14, 15, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 98, 198, 224  
Aplicativo 28, 56, 60, 61, 62, 63, 66  
Aprendizagem 69, 70, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 84  
Argamassa 107, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131  
Armaduras 93, 95, 192, 196, 197, 199, 200, 202

### B

BIM 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 40, 41, 42, 43, 53, 54, 55, 58  
Blocos de concreto 190

### C

Cálculo 1, 4, 10, 14, 15, 33, 38, 63, 66, 69, 75, 80, 84, 86, 90, 93, 98, 101, 104, 105, 106, 109, 112, 172, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 188, 195, 205, 210, 211, 226, 227, 230, 233, 238, 240, 245, 247, 248, 249, 251, 254, 257  
Compatibilização 23, 24, 25, 40, 41, 44, 46, 49, 53, 55  
Concreto 45, 52, 54, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 123, 130, 131, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 195, 198, 205, 230, 231, 238, 239  
Controle tecnológico 121, 122, 127, 130

### D

Desenvolvimento 1, 16, 34, 41, 42, 43, 53, 56, 57, 58, 59, 63, 65, 66, 69, 70, 71, 74, 77, 84, 90, 131, 149, 151, 163, 167, 209, 230, 259  
Dimensionamento 2, 3, 26, 46, 50, 88, 142, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 197, 199, 204, 208, 212, 223, 238, 240, 241, 242, 246, 247, 249, 258, 259

### E

Edificações 17, 41, 44, 54, 67, 87, 90, 99, 121, 122, 124, 130, 133, 135, 137, 140, 141, 142, 147, 148, 226, 229, 230, 233, 237, 238  
Elementos finitos 15, 28, 33, 34, 38, 198, 199, 246  
Eletricidade 149, 152, 153, 154, 156, 159, 160, 161, 163  
Energia 5, 6, 15, 46, 59, 126, 149, 150, 151, 152, 153, 156, 158, 159, 161, 162, 163, 164, 166, 168, 170, 179, 183, 184, 186  
Energia renovável 149  
Ensaio 28, 101, 104, 108, 109, 110, 111, 112, 121, 122, 128, 129, 130, 169, 170, 191, 197, 205  
Estabilidade 86, 87, 88, 92, 93, 98, 99, 115, 226, 238, 246, 249, 258  
Estacas 157, 188, 189, 190, 205  
Estruturas 1, 2, 3, 9, 14, 15, 28, 38, 41, 45, 54, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 99, 100, 105, 113, 119, 167, 168, 169, 171, 176, 178, 179, 186, 205, 207, 208, 223, 224, 225, 238, 239, 241, 259

## G

Gerenciamento de obras 56, 58, 60, 61, 66

Gerenciamento de projetos 16, 19, 27, 67

## I

Inovação 41, 69, 70, 72, 73, 74, 85, 179

## M

Materiais 2, 28, 30, 31, 35, 38, 44, 53, 60, 62, 63, 88, 99, 102, 103, 105, 109, 111, 113, 119, 120, 121, 122, 123, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 140, 143, 147, 148, 167, 168, 169, 172, 198, 199, 223, 228

Método dos deslocamentos 1, 3, 9, 14, 15

Modelagem estrutural 225

Módulo de elasticidade 4, 10, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 115, 121, 122, 127, 128, 130, 131, 198, 199, 209, 231, 244

## P

Perfis de aço 240, 241, 249, 258, 259

Pré-moldados 90, 177, 178, 179, 180, 181, 186, 187

Projeto 1, 2, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 68, 70, 72, 74, 82, 87, 88, 89, 90, 99, 104, 109, 112, 124, 132, 134, 135, 142, 147, 168, 178, 181, 184, 186, 205, 224, 235, 238, 259

Projeto arquitetônico 26, 44, 54

Propriedades geométricas 3, 209, 222, 242, 243, 245, 249, 251

## R

Reciclagem 120, 177, 180, 181, 182, 186, 187

Reforço estrutural 86

Resíduos sólidos 167, 177, 179, 180, 186

Resistência 23, 26, 35, 45, 88, 89, 90, 101, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 121, 122, 124, 126, 127, 128, 129, 131, 142, 166, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 189, 195, 198, 199, 200, 231, 240, 242, 249, 251, 257, 258

## S

Segurança 53, 132, 134, 135, 139, 140, 142, 143, 151, 179, 212, 226, 230, 233, 238, 260

Simulações 28, 30, 31, 33, 35, 98, 190, 225

Sustentabilidade 19, 20, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 186

## T

Tecnologia 27, 40, 41, 42, 53, 54, 57, 58, 59, 61, 67, 68, 121, 131, 152, 153, 157, 161, 163, 166, 260

Treliças 9, 14, 15, 206, 207, 208, 209, 211, 212, 213, 220, 223, 224

## V

Viga 50, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 98, 99, 100, 102, 103, 112, 206, 209, 212, 221, 222, 223, 237, 246

