

**CONSTRU  
METAL**  
2023

**2 1 s e t**  
8 h - 21 h  
allianz parque  
são paulo - sp

# CONTRIBUIÇÕES TECNOCIENTÍFICAS

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO/PROMOÇÃO

**Francal Feiras** DESDE 1969

# Mecanismos para transferência de carga em pilares após incêndio

Créditos: Rafael Eclache Moreira de Camargo, Rodrigo Barreto Caldas, Lucas Ribeiro dos Santos

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas  
Universidade Federal de Minas Gerais  
PROPEEs/UFMG

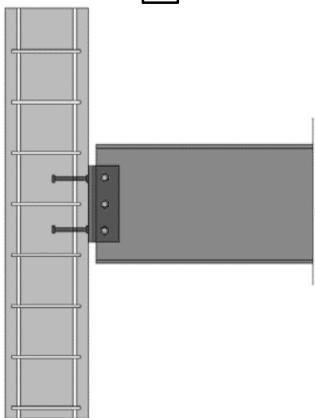
# 1 INTRODUÇÃO



Aumento do uso de sistemas estruturais híbridos e mistos nas últimas décadas.

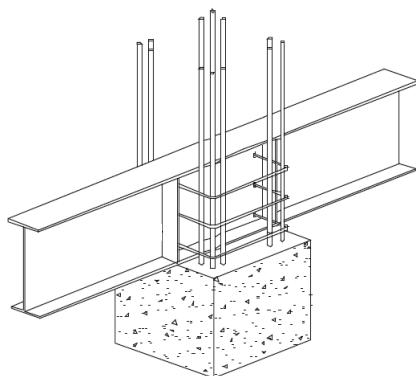


Desafio: concepção dos mecanismos de transferência de cargas entre vigas e pilares.



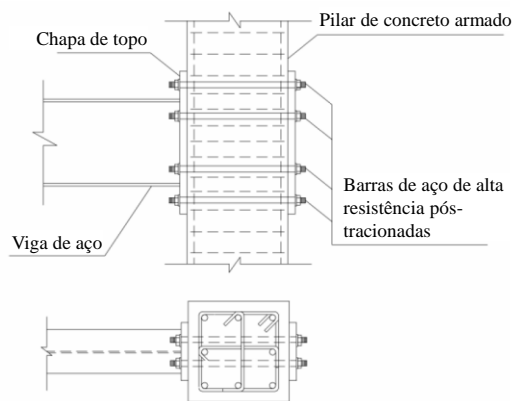
(a) Chapas com *stud bolts*.

Fonte: Kuhlmann et al. [1].



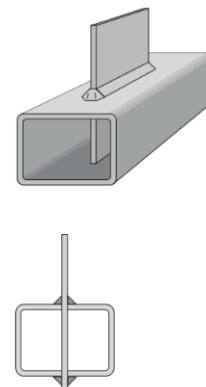
(b) Viga passante.

Fonte: Choi et al. [2].



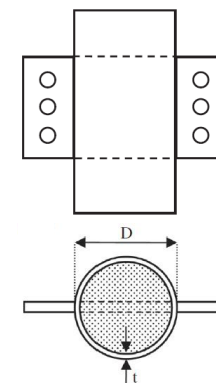
(c) Barras passantes.

Fonte: Adaptado de Wu [3].



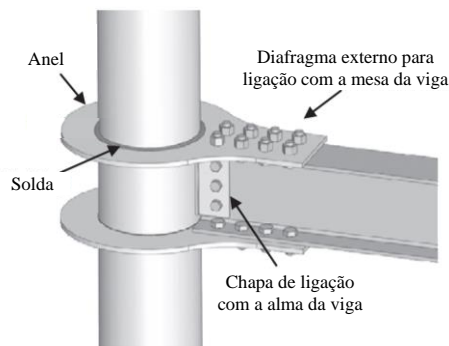
(d) Chapa passante.

Fonte: Kurobane et al. [4].



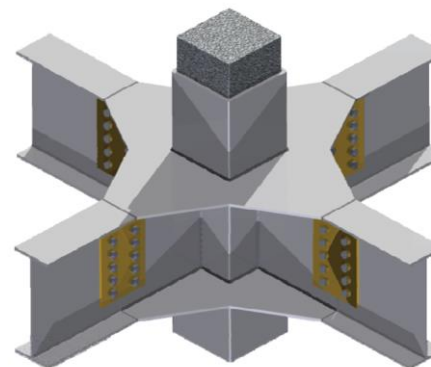
(e) Chapa passante.

Fonte: Mollazadeh e Wang [5].



(f) Anéis externos.

Fonte: Adaptado de Sabbagh et al. [6].



(g) Diafragmas externos.

Fonte: Liew e Xiong [7].

# 1 INTRODUÇÃO



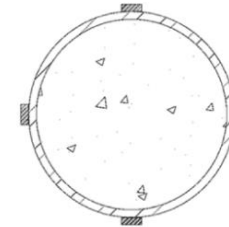
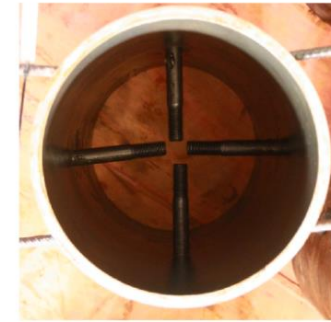
Pilares mistos: comum o uso de *stud bolts* ou parafusos soldados.

Pinos com cabeça em pilar misto parcialmente revestido de concreto.



Fonte: Fakury et al. [8].

Parafusos soldados ao tubo de pilar misto preenchido de concreto.




Fonte: Chaves et al. [9].

# 1 INTRODUÇÃO

 Nova alternativa: aplicação de conectores *composite dowels*.

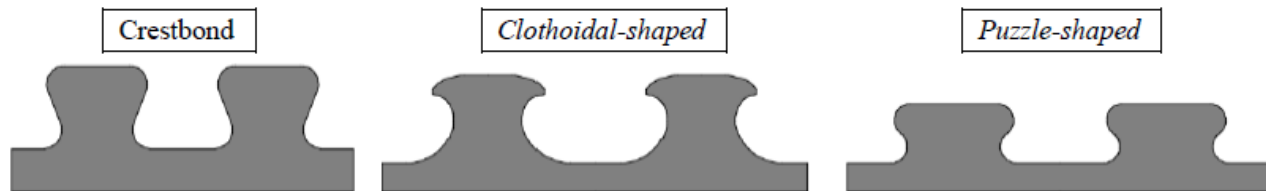
 Chapas de aço com recortes regulares intercalados.

 Geometrias mais comuns na Europa: *clothoidal* e *puzzle* (aprovação técnica alemã Z-26.4-56 [10]).

 Concebidos para serem aplicados em vigas mistas de aço e concreto utilizadas em pontes.

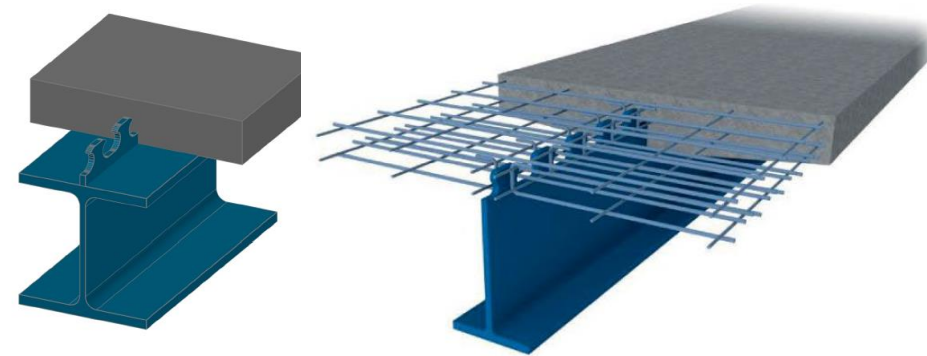
 Geometria desenvolvida no Brasil: *Crestbond* (Veríssimo [11]).

Exemplos de geometrias de conectores em chapas de aço com recortes.

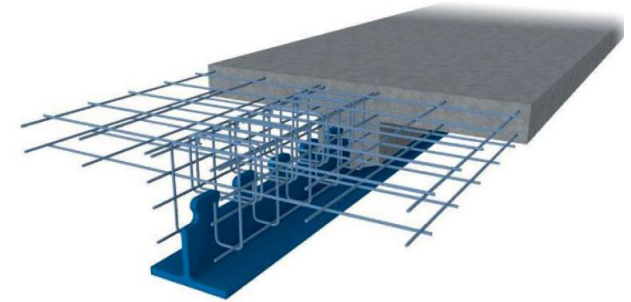


Fonte: Cardoso [12].

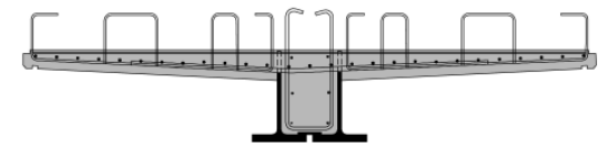
Exemplos de aplicação dos conectores *composite dowels*.



(a) Fonte: Lechner [13]. (b) Fonte: Feldman et al. [14].



(c) Fonte: Feldman et al. [14].



(d) Fonte: Seidl et al. [15].

# 1 INTRODUÇÃO



Nova abordagem: *composite dowels* como mecanismos de transferência de cargas entre vigas e pilares.



Geometria dos conectores confeccionada diretamente na chapa de ligação.

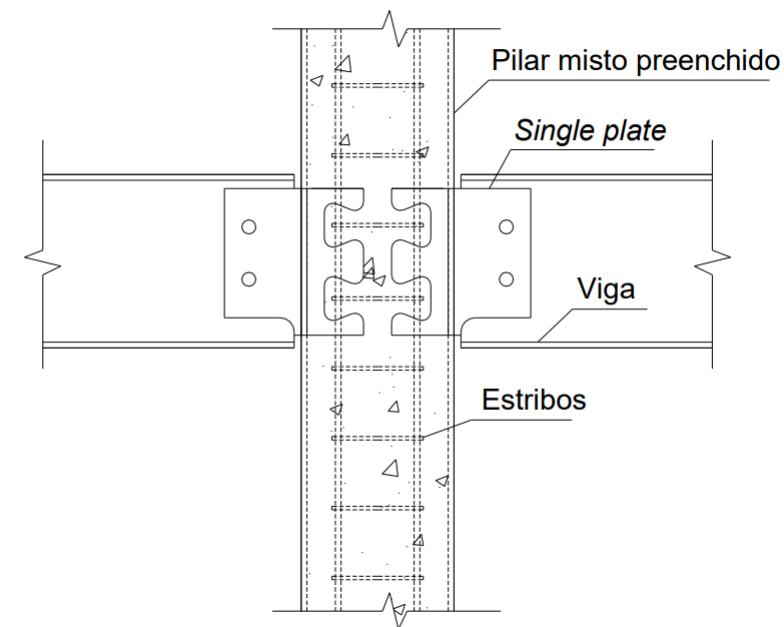


Sem necessidade de elementos adicionais.



Facilita a passagem dos estribos que fazem parte da armadura do pilar.

Ligação entre vigas de aço e pilar misto preenchido com concreto, utilizando *single plates* com recortes intercalados.



Fonte: Oliveira et al. [16].



Principal método: pesquisa bibliográfica.



Tópicos:

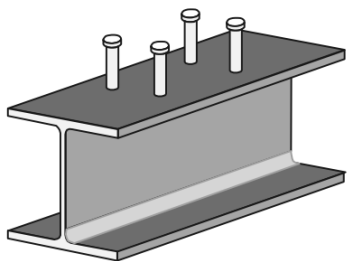
- 1) Principais tipos de conectores de cisalhamento.
- 2) Mecanismos de falha dos conectores *composite dowels*.
- 3) Aplicação de conectores *composite dowels* para transmissão de carga em pilares mistos preenchidos de concreto e pilares de concreto.
- 4) Comportamento de conectores de cisalhamento após incêndio.
- 5) Comportamento dos materiais em temperaturas elevadas e após resfriamento.



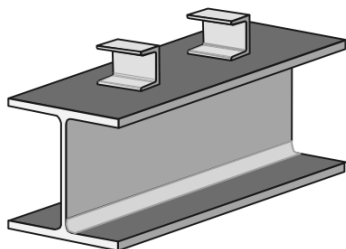
# 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## Principais tipos de conectores de cisalhamento

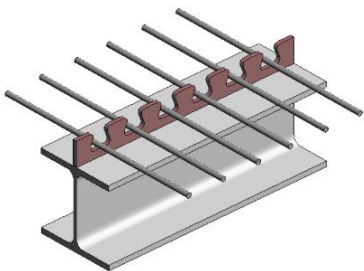
Conectores de cisalhamento.



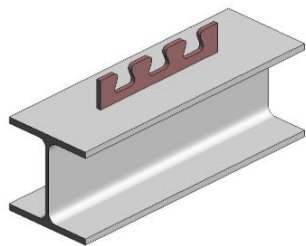
(a) Pino com cabeça.



(b) Perfil U laminado.



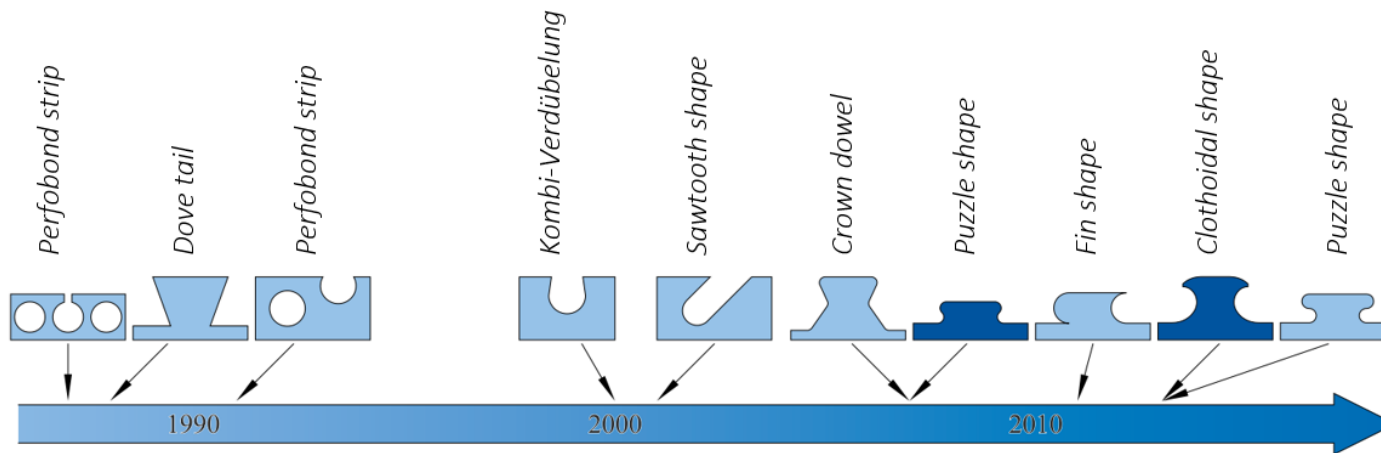
(c) Crestbond contínuo.



(d) Crestbond descontínuo.

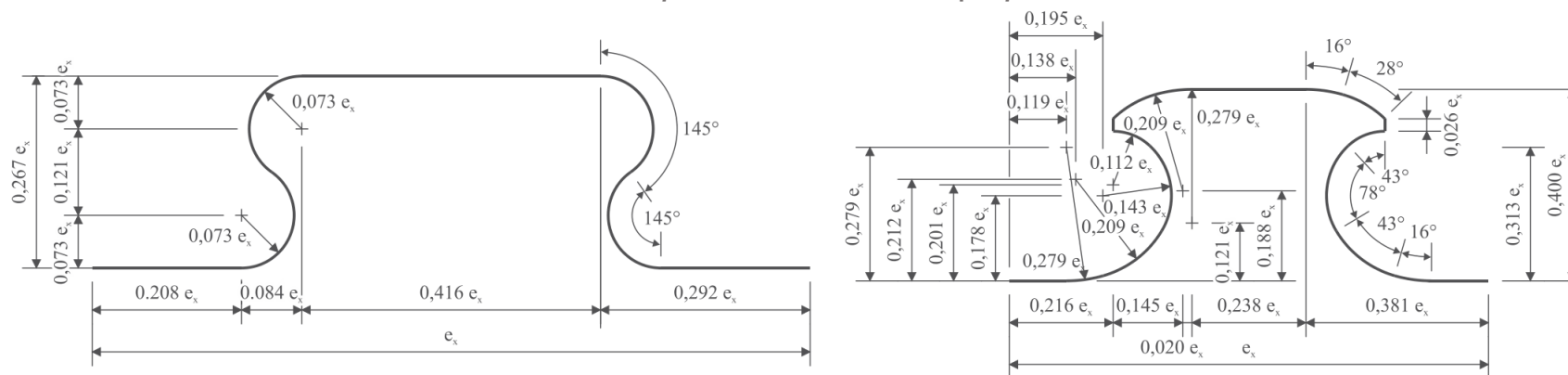
Fonte: Veríssimo [11].

Desenvolvimento dos conectores em chapa.



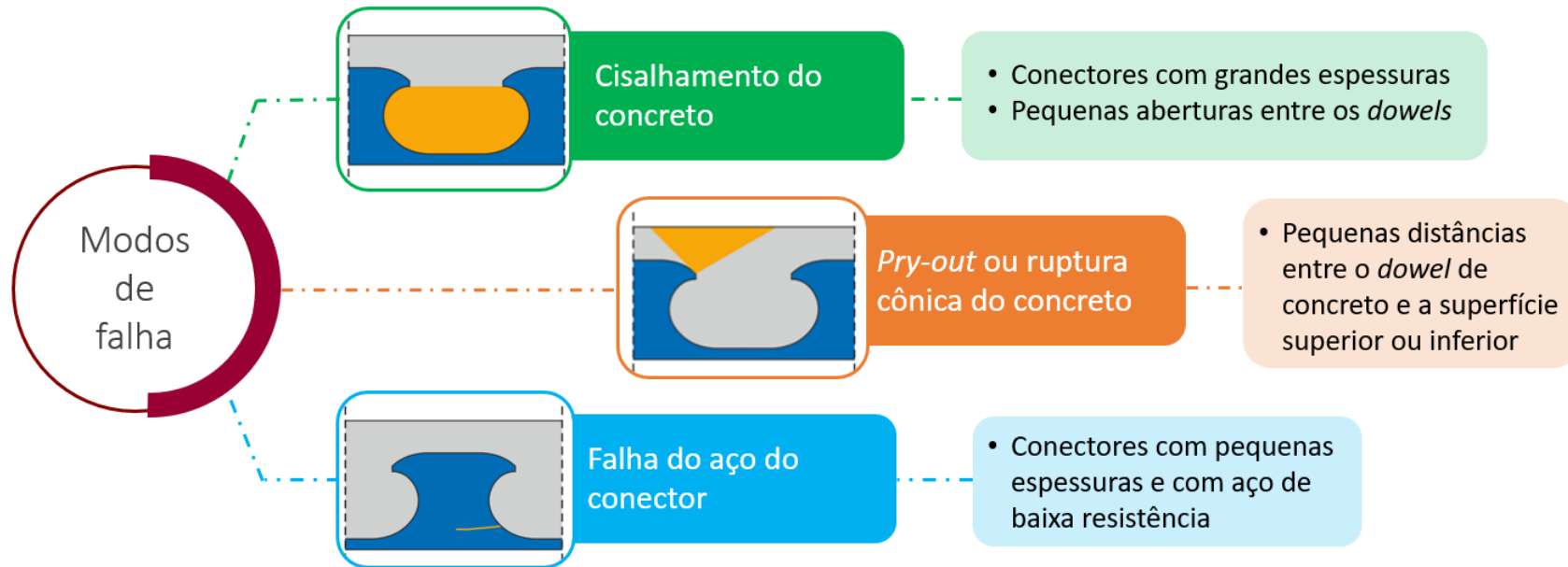
Fonte: Kopp et al. [17].

Geometria dos *composite dowels* do tipo *puzzle* e *clothoidal*.

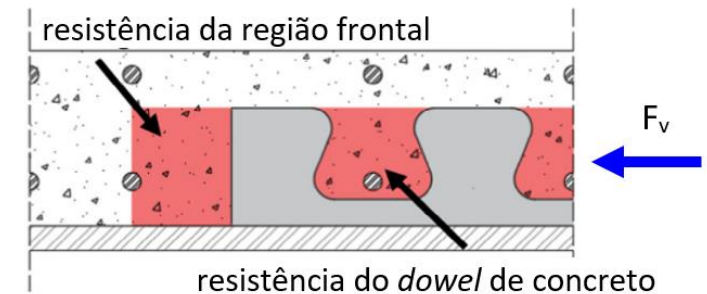


Fonte: Kopp et al. [17].

## Mecanismos de falha dos conectores *composite dowels*



A aprovação técnica alemã aborda apenas conectores contínuos, ou seja, não considera em sua formulação a contribuição da região frontal do conector :



Fonte: Cardoso et al. [18].



## Aplicação de conectores *composite dowels* para transmissão de carga em pilares mistos preenchidos de concreto e pilares de concreto



Cardoso [12]: estudo numérico e experimental a respeito do comportamento dos conectores Crestbond em pilares mistos preenchidos de concreto (PMPC) com seções compactas.

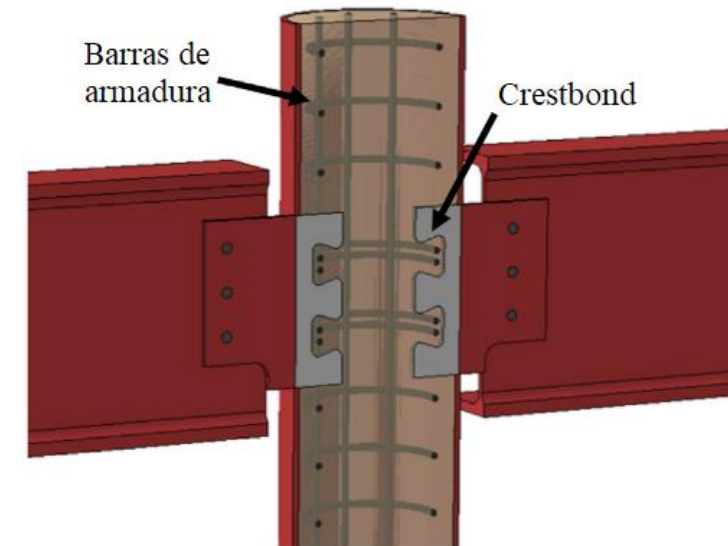


Santos [19]: aplicação de conectores Crestbond, *clothoidal* e *puzzle* como dispositivos de introdução de cargas em PMPC com seções circulares e esbeltas, e em pilares de concreto.



Prado [20],[21]: primeiras análises numéricas em situação de incêndio, comparando os comportamentos do conector Crestbond e da chapa passante como dispositivos de transferência de cargas em PMPC.

Ligação viga-PMPC por meio de conectores Crestbond.



Fonte: Cardoso et al. [18].



## Aplicação de conectores *composite dowels* para transmissão de carga em pilares mistos preenchidos de concreto e pilares de concreto



Resultados em temperatura ambiente:



Falha predominante no aço do conector.



Resultados em situação de incêndio:

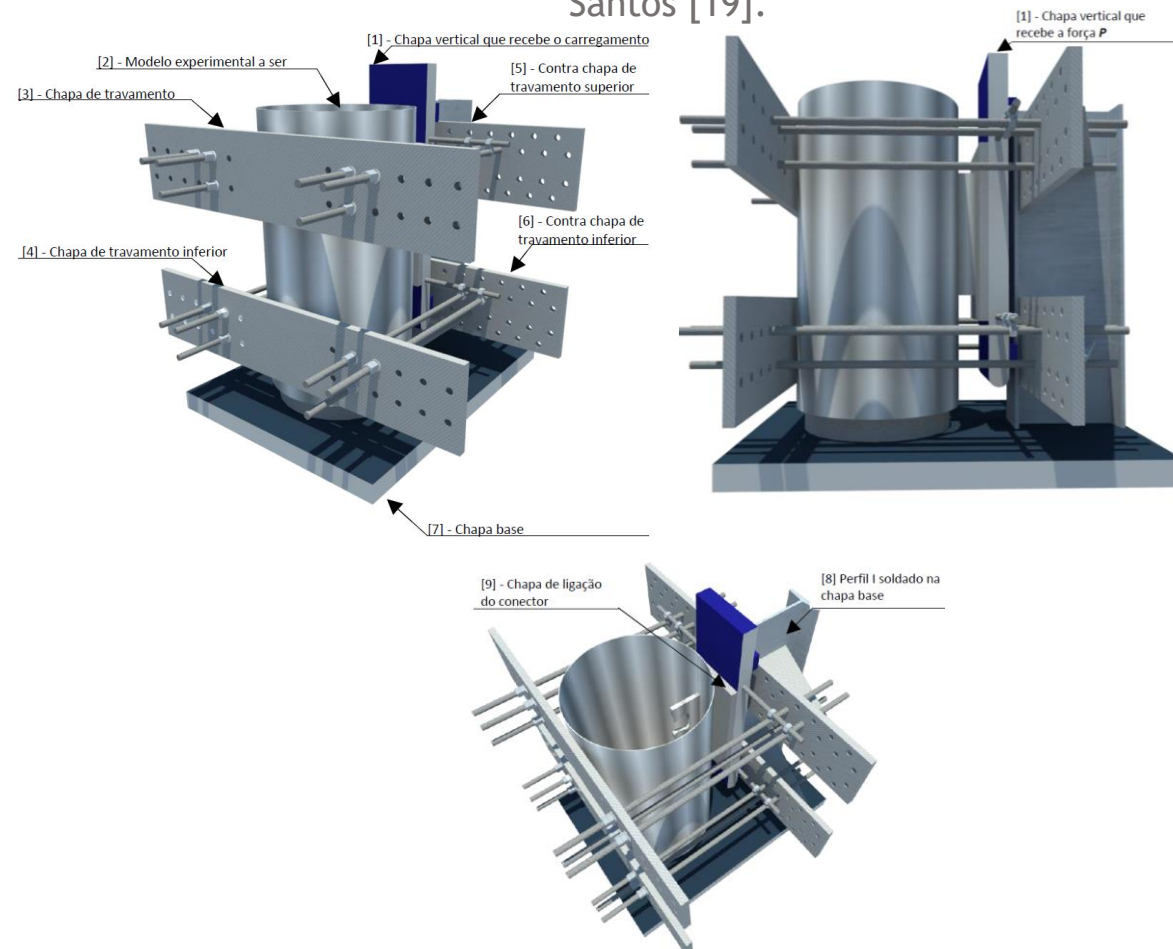


Cargas menores ou iguais a 30% daquela resistente em temperatura ambiente: falha do aço do conector.




Cargas acima de 30% daquela resistente em temperatura ambiente: falha no concreto.

Dispositivo de ensaio de cisalhamento desenvolvido por Santos [19].




Fonte: Santos [19].


## Comportamento de conectores de cisalhamento após incêndio

 Desempenho dos conectores *composite dowels* após incêndio não foi objeto de estudo até o momento.

 Tian et al. [22]:

 Novo estudo experimental sobre pinos com cabeça próximos às bordas de concreto.

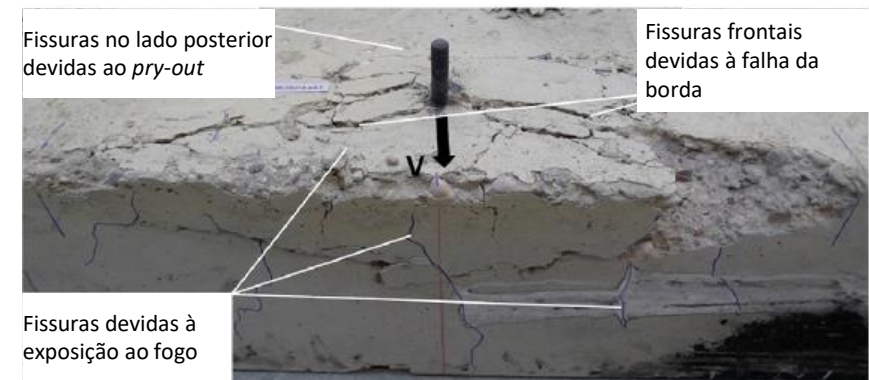
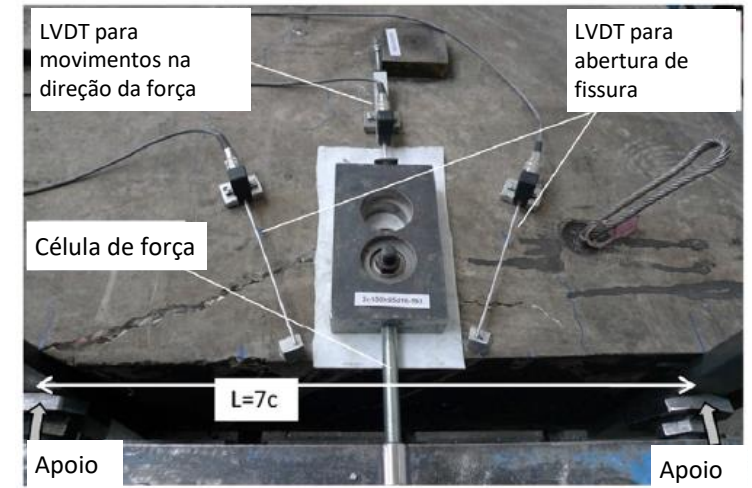
 Adotada a curva ISO 834-1:1999 [23], considerando 15 e 60 minutos de incêndio, seguidos de resfriamento natural.

 Reduções de resistência em relação àquela obtida em temperatura ambiente:

 15 minutos de incêndio ( $\sim 739^{\circ}\text{C}$ ) seguido de resfriamento: 50%.

 60 minutos de incêndio ( $\sim 945^{\circ}\text{C}$ ) seguido de resfriamento: 85%.


Configuração dos ensaios e modo de falha após incêndio.



Tian et al. [22]

## Comportamento de conectores de cisalhamento após incêndio

 Tian e Ožbolt [24]:

 Investigação experimental e numérica sobre a falha por *pry-out* em conectores isolados.

 Conectores submetidos a incêndios de 15 ou 60 minutos e resfriados naturalmente.

 Ocorrência de *spalling* nas regiões centrais das lajes com concreto classe C20/25.

 Análise paramétrica:

 Após 15 minutos e resfriamento: redução entre 20% e 50%.

 Após 60 minutos e resfriamento: redução de 70%.





Efeitos do fogo nos protótipos de concreto após 15 minutos e 60 minutos de incêndio-padrão.



Tian e Ožbolt [24]

## Comportamento dos materiais em temperaturas elevadas e após resfriamento

### Concreto:

-  Suscetível ao *spalling* em altas temperaturas, influenciado por diversas propriedades.
-  Resistência residual depende do tipo de resfriamento (ao ar, com imersão em água, etc.).
-  Quanto maior a temperatura atingida e mais rápido é o resfriamento, maior será a perda de resistência.
-  Dificuldade: diferentes metodologias de ensaio para obtenção da resistência residual à compressão do concreto.

*Spalling* do concreto em uma parede externa e na laje de cobertura de uma garagem.



Jansson [25]



## Comportamento dos materiais em temperaturas elevadas e após resfriamento



Aço:



Pequenas diferenças em relação à temperatura limite para a recuperação total das propriedades mecânicas.



Para aços estruturais laminados a quente:

- Tao et al. [26]: 500 °C (tensão de escoamento, de ruptura e módulo de elasticidade).
- Maraveas et al. [27]: 600 °C (tensão de escoamento).
- Tang et al. [28]: 450 °C (tensão de escoamento) e 500 °C (módulo de elasticidade).
- Molken e Rossi [29]: até 600 °C (tensão de escoamento e módulo de elasticidade).



Molken e Rossi [29]: mesmo para temperaturas maiores, há retenções significativas da tensão de escoamento (700 °C: 83%, 1000 °C: 61,8%) e do módulo de elasticidade (700 °C: 98,6%, 1000 °C: 90,5%).



Escassez de trabalhos voltados à aplicação de conectores de cisalhamento e chapas de aço como mecanismos de transferência de carga após incêndio.



Utilização dos conectores *composite dowels* é bastante promissora nesses casos, mas há necessidade de se estudar seu comportamento durante e após incêndio.



Concreto:

- Maior degradação de suas propriedades mecânicas após incêndio.
- Possibilidade dos modos de falha nessa situação estejam relacionados à esse material.



Aço:

- Divergência em relação à temperatura limite para a recuperação total de suas propriedades mecânicas.
- Diferentes metodologias de ensaio e tipos de resfriamento.
- Menor degradação de suas propriedades mecânicas após incêndio.

# AGRADECIMENTOS



1. KUHLMANN, U.; WALD, F.; HOFMANN, J. et al. **Design of Steel-to-Concrete Joints - Design Manual II**. European Convention for Constructional Steelwork, 2014.
2. CHOI, Y. C.; MOON, J. H.; LEE, E. J.; PARK, K. S.; LEE, K. S. Development of a Shear Strength Equation for Beam - Column Connections in Reinforced Concrete and Steel Composite Systems. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 11, n. 2, p. 185-197, 2017.
3. WU, Y. **Development of Precast Concrete and Steel Hybrid Special Moment-Resisting Frames**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - University of Southern California, Los Angeles, EUA, 2008.
4. KUROBANE, Y.; PACKER, J.; WARDENIER, W.; YEOMANS, N. **CIDECT Design Guide 9: Design guide for structural hollow section column connections**. Colônia: CIDECT and Verlag TÜV Rheinland, 2004.
5. MOLLAZADEH, M. H.; WANG, Y. C. New insights into the mechanism of load introduction into concrete-filled steel tubular column through shear connection. **Engineering Structures**, v. 75, n. 6, p. 139-151, 2014.
6. SABBAGH, A. B.; CHAN, T. M.; MOTTRAM, J. T. Detailing of I-beam-to-CHS column joints with external diaphragm plates for seismic actions. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 88, p. 21-33, 2013.
7. LIEW, J. Y. R.; XIONG, M. X. **Design Guide for Concrete Filled Tubular Members with High Strength Materials to Eurocode 4**. Singapura: Research Publishing, 2015.
8. FAKURY, R. H.; SILVA, A. L. R. C.; CALDAS, R. B. **Dimensionamento básico de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.
9. CHAVES, M. F. F.; XAVIER, E. M.; SARMANHO, A. M. C.; NETO, J. G. R. Study of bolts used as shear connectors in concrete-filled steel tubes. **Engineering Structures**, v. 231, 2021.
10. DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK. **Nr. Z-26.4-56: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung der Verbunddübelleiste**. Berlim, Alemanha, 2018.
11. VERÍSSIMO, G. **Desenvolvimento de um conector de cisalhamento em chapa dentada para estruturas mistas de aço e concreto e estudo do seu comportamento**. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
12. CARDOSO, H. S. **Avaliação do comportamento de conectores constituídos por chapas de aço com recortes regulares - ênfase em conectores de geometria Crestbond aplicados em pilares mistos**. 319 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.
13. LECHNER, T. **Zur Anwendung von Verbunddübelleisten in schlanken Verbundträgern aus ultrahochfestem Beton**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Technischen Universität München, Munique, Alemanha, 2018.
14. FELDMANN, M.; KOPP, M.; PAK, D. Composite dowels as shear connectors for composite beams - background to the German technical approval. **Steel Construction**, v. 9, n. 2, p. 80-88, 2016.

15. SEIDL, G.; STAMBUK, M.; LORENC, W.; KOŁAKOWSKI, T.; PETZEK, E. Wirtschaftliche Verbundbauweisen im Brückenbau - Bauweisen mit Verbunddübelleisten. *Stahlbau*, v. 82, n. 7, 2013.
16. OLIVEIRA, H. M. S.; CALDAS, R. B.; FAKURY, R. H.; VERÍSSIMO, G. S.; RODRIGUES, F. C.; FLOR, J. M.; CARDOSO, H. S.; AGUIAR, O. P.; FARIA, A. C. V. C.; ARAÚJO, A. H. M. Uso do Conector Crestbond em Pilares Mistos Formados por Perfis Tubulares de Aço Preenchidos com Concreto. In: **XXXVI Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural**. Montevideu, Uruguai, 2014.
17. KOPP, M.; WOLTERS, K.; CLASSEN, M.; HEGGER, J.; GÜNDEL, M.; GALLWOSZUS, J.; HEINEMEYER, S.; FERLDMANN, M. Composite dowels as shear connectors for composite beams - Background to the design concept for static loading. *Journal of Constructional Steel Research*, v. 147, p. 488-503, 2018.
18. CARDOSO, H. S.; AGUIAR, O. P.; CALDAS, R. B. Composite dowels as load introduction devices in concrete-filled steel tubular columns. *Engineering Structures*, v. 219, 2020.
19. SANTOS, L. R. **Conectores Composite Dowels aplicados a pilares mistos de seção tubular de aço esbelta**. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.
20. PRADO, L. F. P. **Estudo numérico do conector Crestbond e de chapa passante em pilares mistos tubulares circulares preenchidos com concreto em situação de incêndio**. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
21. PRADO, L. F. P.; MIRANDA, L. G. J.; CALDAS, R. B. Crestbond shear connector for load transfer on concrete filled composite columns in fire. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 15, n. 3, 2022.
22. TIAN, K.; OŽBOLT, J.; SHARMA, A.; HOFMANN, J. Experimental study on concrete edge failure of single headed stud anchors after fire exposure. *Fire Safety Journal*, v. 96, p. 176-188, 2018b.
23. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 834-1: Fire-resistance tests: elements of building construction - Part 1: general requirements for fire resistance testing**. Genebra, 1999.
24. TIAN, K.; OŽBOLT, J. Concrete pry-out failure of single headed stud anchors after fire exposure: Experimental and numerical study. *Engineering Structures*, v. 232, 2021.
25. JANSSON, R. **Fire spalling of concrete: theoretical and experimental studies**. Tese (Doutorado em Ciências) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suécia, 2013.
26. TAO, Z.; WANG, X. Q. UY, B. Stress-Strain Curves of Structural and Reinforcing Steels after Exposure to Elevated Temperatures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 25, n. 9. P. 1306-1316, 2013.
27. MARAVEAS, C.; FASOULAKIS, Z.; TSAVDARIDIS, K. D. Post-fire assessment and reinstatement of steel structures. *Journal of Structural Fire Engineering*, v. 8, n. 2, p. 181-201, 2017.

28. TANG, Z.; WEI, T.; MA, Y.; CHEN, L. Residual Strength of Steel Structures After Fire Events Considering Material Damages. *Arabian Journal for Science and Engineering*, v. 44, p. 5075-5088, 2019.
29. MOLKENS, T.; ROSSI, B. The Post-fire Assessment of Steel Structures, a Reliability-Based Semi-probabilistic Approach. *Fire Technology*, 2022.

# CONSTRU METAL 2023

**2 1 s e t**

8 h - 21 h

allianz parque

são paulo - sp



@congressoconstrumetal  
congressoconstrumetal.com.br

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO/PROMOCIÓN

**Franca! Feiras** DESDE 1969