



ANAIS DO I CONGRESSO BRASILEIRO DE ESTRUTURAS MISTAS

De 15 a 17 de Abril de 2024

Maringá - PR



I Congresso Brasileiro de Estruturas Mistas

I Congresso Brasileiro de Estruturas Mistas

Editores:

Carlos Humberto Martins

Flávia Gimenez Berti

Haron Cesar Almeida Tavares

Igor Eduardo da Silva Ribeiro

Jonas Yoshihiro Namba

Milena Cardozo

IDEALIZAÇÃO



www.gpnum.com.br



[@gpnum_uem](https://www.instagram.com/gpnum_uem)



www.gpnum.eng.br



gpnum@uem.br

CANAIS OFICIAIS I CBEM



npd.uem.br/eventos/ev/CBEM2024



www.youtube.com/@cbemuem



[@cbem2024](https://www.instagram.com/cbem2024)



cbem@uem.br

PREÂMBULO

Bem-vindos(as) à Primeira Edição do I Congresso Brasileiro de Estruturas Mistas (**CBEM**)!

O **CBEM** é o primeiro congresso brasileiro dedicado à área de estruturas mistas, com o objetivo de apresentar as mais recentes pesquisas, inovações e realizações nesse campo, por meio de palestras dos mais renomados pesquisadores da área, da apresentação de 50 trabalhos e oferta de minicursos. *Até então, não havia nenhum evento exclusivo para o debate sobre estruturas mistas no Brasil.*

Este evento proporcionará um ambiente propício para o intercâmbio de ideias e experiências entre os diversos participantes envolvidos no projeto e na execução de estruturas mistas, além das atividades de pesquisa, inovação, sustentabilidade e ensino relacionadas à área.

Com a participação de 128 inscritos das 5 regiões do Brasil e de 5 países (Colômbia, França, Luxemburgo, Peru e Portugal) representando 41 Instituições do Brasil e do Exterior: CEFET-MG, EESC-USP, Faculdade Luciano Feijão, FGV, IPOS Especialização, MACKENZIE, PUC-RJ, UEFS, UEM, UEMA, UERJ, UFAL, UFBA, UFC, UFCAT, UFES, UFMG, UFOP, UFPA, UFRJ, UFPR, UFRGS, UFSCAR, UFU, UFV, UnB, UNDB, UNESP, UNICESUMAR, UNIFACS, UNIFATECIE, UNIFESSPA, UNILA, UNINGÁ, UNOPAR, UPF, USP, UTFPR, ENS Paris-Saclay, Universidad Nacional de Colômbia, Universidade de Luxemburgo, Universidad de Ingeniería e Tecnología e Instituto Politécnico de Bragança. Além disso, contaremos com a participação de profissionais de grandes empresas do setor de construção civil e apoio à análise de estruturas, como: 3DEXPERIENCE, AG Projetos Estruturais, ArcelorMittal, CAT Engenharia, DFS Engenharia, EDC Tecnologia, Gerdau, ISI Senai, Santana Engenharia e SolarMaxx.

O **CBEM** marca o início de uma tradição de aprendizado e colaboração, onde estudantes de graduação, pós-graduação, pesquisadores e profissionais da área se reunirão para discutir pesquisas, inovações, novas técnicas construtivas, novos produtos e processos, bem como aspectos da sustentabilidade das estruturas mistas. Estes temas estão alinhados com a expansão e consolidação desse sistema construtivo no setor da construção civil brasileira.

Por fim, expresso meus profundos agradecimentos a todos(as) os(as) envolvidos(as) na organização deste evento, bem como aos patrocinadores e apoiadores que tornaram possível a realização desta primeira edição. Que este congresso seja apenas o começo de uma longa jornada de descobertas, aprendizado e crescimento conjunto na área de estruturas mistas, e que venha o **II CBEM 2025!**

Prof. Dr. Carlos Humberto Martins
Presidente da Comissão Organizadora

AGRADECIMENTOS



PATROCINADORES



APOIADORES



COMISSÃO ORGANIZADORA

Prof. Dr. Carlos Humberto Martins (Presidente)	Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Elyson Andrew Pozo Liberati	Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Alexandre Rossi	Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Dr. Felipe Piana Vendramell Ferreira	Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Dr. Pablo Augusto Krahl	Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Alberto Benedetty Torres	Universidad de Ingeniería e Tecnología

COMITÊ CIENTÍFICO

Adriano Silva de Carvalho
Agnaldo Lenine Alves
Alexandre Rossi
André Vitor Benedito
Carlos Alberto Benedetty Torres
Carlos Humberto Martins
Douglas Fernandes dos Santos
Elyson Andrew Pozo Liberati
Felipe Piana Vendramell Ferreira
Flávia Gimenez Berti
Gustavo Almeida Moura
Haron Cesar Almeida Tavares
Igor Eduardo da Silva Ribeiro
Jonas Yoshihiro Namba
Leonardo André Rossato
Lucas Mognon Santiago Prates
Milena Cardozo
Pablo Augusto Krahl
Vinicius Brother dos Santos
Vinicius Moura de Oliveira
Vinicius Gabriel Parolin de Souza
Vitor Augusto Pazin

COMISSÃO DE APOIO

André Vitor Benedito
Carlos Humberto Martins
Douglas Fernandes dos Santos
Enzo Martinez Vieira
Flávia Gimenez Berti
Guilherme Teramon
Gustavo Almeida Moura
Gustavo Henrique Beffa
Haron Cesar Almeida Tavares
Igor Eduardo da Silva Ribeiro
Jonas Yoshihiro Namba
Joseane Finoti
Leonardo André Rossato
Lucas Mognon Santiago Prates
Milena Cardozo
Renan Junqueira
Vinicius Brother dos Santos
Vinicius Moura de Oliveira
Vinicius Gabriel Parolin de Souza

ATRAÇÃO CULTURAL



Vinicius Gabriel Parolin de Souza

PALESTRAS

Prof. Dr. Ricardo Hallal Fakury	Aspectos atuais do uso de estruturas mistas de aço e concreto em edifícios superaltos e megaltos
Prof. Dra. Silvana de Nardin	Uso de materiais sustentáveis em elementos mistos de aço e concreto
Prof. Dr. Luciano Rodrigues Ornelas de Lima	Comportamento de colunas mistas com materiais sustentáveis
Prof. Dra. A. Fernanda Grobério Calenzani	Análise do comportamento e projeto otimizado de lajes mistas
Marcos Machado e Maurício Martins	Vergalhão Gerdau GG-70 - Alta resistência para obras desafiadoras
Douglas Lazzarini Dutra	Simulação para infraestrutura robusta e sustentável
Prof. Dr. Flávio de Andrade e Silva	Novos materiais para estruturas mistas: FRP (FIBRE-REINFORCED POLYMER)
Prof. Dr. Pablo Augusto Krahl	Projeto de estruturas mistas sustentáveis utilizando materiais de alto desempenho
Prof. Dr. Paulo Alexandre Gonçalves Piloto	Comportamento ao fogo de lajes mistas com chapa de aço colaborante

MINICURSOS

Introdução ao Abaqus – Viga Metálica	Me. André Vitor Benedito
	Flávia Gimenez Berti
	Igor Eduardo da Silva Ribeiro
	Jonas Yoshihiro Namba
<hr/>	
Introdução ao Abaqus – Pilar Misto	Gustavo Almeida Moura
	Leonardo André Rossato
	Me. Lucas Mognon Santiago Prates
	Milena Cardozo
<hr/>	
Análise não linear – Viga Metálica	Me. André Vitor Benedito
	Igor Eduardo da Silva Ribeiro
	Jonas Yoshihiro Namba
<hr/>	
Análise não linear – Pilar Misto	Gustavo Almeida Moura
	Leonardo André Rossato
	Me. Lucas Mognon Santiago Prates
<hr/>	
Abaqus - Desenvolvimento de Scripts	Haron Cesar Almeida Tavares
<hr/>	
Escrita de artigos científicos para revistas de alto impacto	Me. Vinícius Moura de Oliveira
<hr/>	
Introdução ao Origin	Prof. Dr. Carlos Alberto Benedetty Torres
<hr/>	
Programação avançada em HP	Milena Cardozo
	Vinicius Gabriel Parolin de Souza

PROGRAMAÇÃO

15/04/2024 - SEGUNDA-FEIRA

MANHÃ

HORÁRIO	ATIVIDADE	LOCAL
8:00 – 9:00	Credenciamento dos participantes	HALL PRINCIPAL BLOCO C67
8:30 – 9:00	Apresentação Musical – Mestrando Vinicius Parolin	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
9:00 – 9:30	Abertura	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
9:30 – 10:00	COFFEE-BREAK	HALL PRINCIPAL BLOCO C67
10:00 – 11:00	PALESTRANTE: Prof. Dr. Ricardo Hallal Fakury TEMA: Aspectos atuais do uso de estruturas mistas de aço e concreto em edifícios super altos e mega altos	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
11:00 – 12:00	PALESTRANTE: Profa. Dra. Silvana de Nardin TEMA: Uso de materiais sustentáveis em elementos mistos de aço e concreto	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR

TARDE

HORÁRIO	ATIVIDADE	LOCAL
14:00 – 16:00	Sessão Técnica 01 de apresentação de trabalhos (Online) - 8 trabalhos – PRESENCIAL – TRANSMISSÃO	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
14:00 – 16:00	Sessão Técnica 02 de apresentação de trabalhos (Presencial) – 8 trabalhos – ONLINE - TRANSMISSÃO	SALA AULA PCV BLOCO C67 - TÉRREO
16:00 – 16:30	COFFEE-BREAK	HALL PRINCIPAL BLOCO C67
16:30 – 18:30	MINICURSO 1: ABAQUS (Introdução- Viga Metálica) – PRESENCIAL Ministrantes: Igor Eduardo, Jonas Namba e Flávia Gimenez	SALA 105 BLOCO C67 - 1º ANDAR
19:00 – 21:00	MINICURSO 1: ABAQUS (Introdução- Viga Metálica) – Ministrante: André Vitor Benedito	ONLINE
16:30 – 18:30	MINICURSO 2: ABAQUS (Introdução- Pilar Misto) – PRESENCIAL Ministrantes: Leonardo Rossato, Gustavo Moura e Milena Cardozo	SALA 101 BLOCO C67 - 1º ANDAR
19:00 – 21:00	MINICURSO 2: ABAQUS (Introdução- Pilar Misto) – Ministrante: Lucas Mognon Santiago Prates	ONLINE
16:30 – 18:30	MINICURSO 3: Escrita de artigos científicos Ministrante: Vinicius Moura de Oliveira	ONLINE

16/04/2024 - TERÇA-FEIRA

MANHÃ

HORÁRIO	ATIVIDADE	LOCAL
8:00 – 9:00	PALESTRANTE: Prof. Dr. Luciano Rodrigues O. de Lima TEMA: Comportamento de colunas mistas com materiais sustentáveis	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
9:00 – 10:00	PALESTRANTE: Profa. Dra. A. Fernanda G. Calenzani TEMA: Análise do comportamento e projeto otimizado de lajes mistas	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
10:00 – 10:30	COFFEE-BREAK	HALL PRINCIPAL BLOCO C67
10:30 – 12:45	Sessão Técnica 03 de apresentação de trabalhos (Online) - 9 trabalhos – PRESENCIAL – TRANSMISSÃO	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
10:30 – 12:45	Sessão Técnica 04 de apresentação de trabalhos (Presencial) – 9 trabalhos – ONLINE - TRANSMISSÃO	AUDITÓRIO CTC BLOCO C67 - TÉRREO

TARDE

HORÁRIO	ATIVIDADE	LOCAL
14:00 – 15:00	Palestra Gerdau: Vergalhão Gerdau GG- 70 - Alta resistência para obras desafiadoras Engenheiros: Marcos Machado e Maurício Martins	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
15:00 – 16:00	Palestra Dassault Systèmes – Simulação para infraestrutura robusta e sustentável Engenheiro e consultor: Douglas Lazzarini Dutra	AUDITÓRIO CTC BLOCO C67 - 2º ANDAR
16:00 – 16:30	COFFEE-BREAK	HALL PRINCIPAL BLOCO C67
16:30 – 18:30	MINICURSO 4: ABAQUS (Análise Não linear- Viga Metálica) – PRESENCIAL Ministrantes: Igor Eduardo e Jonas Namba	SALA 105 BLOCO C67 - 1º ANDAR
19:00 – 21:00	MINICURSO 4: ABAQUS (Análise Não linear- Viga Metálica) Ministrante: André Vitor Benedito	ONLINE
16:30 – 18:30	MINICURSO 5: ABAQUS: Desenvolvendo Scripts – HÍBRIDO (PRESENCIAL E ONLINE) Ministrante: Haron Almeida Tavares	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
16:30 – 18:30	MINICURSO 6: ORIGIN (Introdução) Ministrante: Prof. Dr. Carlos Alberto Benedetti	ONLINE
19:00 – 21:00	MINICURSO 7: ABAQUS (Análise Não linear- Pilar Misto) Ministrantes: Leonardo Rossato	ONLINE

17/04/2024 - QUARTA-FEIRA

MANHÃ

HORÁRIO	ATIVIDADE	LOCAL
8:00 – 9:00	PALESTRANTES: Prof. Dr. Flávio de Andrade e Silva TEMA: Novos materiais para estruturas mistas: FRP (FIBRE-REINFORCED POLYMER)	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
9:00 – 10:00	PALESTRANTE: Prof. Dr. Pablo Augusto Krahl TEMA: Projeto de estruturas mistas sustentáveis utilizando materiais de alto desempenho	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
10:00 – 10:30	COFFEE-BREAK	HALL PRINCIPAL BLOCO C67
10:30 – 11:30	PALESTRANTE: Prof. Dr. Paulo Alexandre Gonçalves Piloto (ONLINE COM TRANSMISSÃO) TEMA: Comportamento ao fogo de lajes mistas com chapa de aço colaborante	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR

TARDE

HORÁRIO	ATIVIDADE	LOCAL
13:30 – 15:30	Sessão Técnica 05 de apresentação de trabalhos (Online) - 8 trabalhos – PRESENCIAL – TRANSMISSÃO	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
13:30 – 15:30	Sessão Técnica 06 de apresentação de trabalhos (Presencial) – 8 trabalhos – ONLINE - TRANSMISSÃO	AUDITÓRIO BLOCO C67 - TÉRREO
15:30 – 16:00	COFFEE-BREAK	HALL PRINCIPAL BLOCO C67
16:00 – 18:00	MINICURSO 7: ABAQUS (Análise Não linear- Pilar Misto) – PRESENCIAL Ministrantes: Lucas Mognon e Gustavo Moura	SALA 105 BLOCO C67 - 1º ANDAR
16:00 – 18:00	MINICURSO 8: Programação Avançada em HP – HÍBRIDO (PRESENCIAL E ONLINE) Ministrantes: Vinicius Parolin e Milena Cardozo	AUDITÓRIO BLOCO C67 - 2º ANDAR
18:00 – 18:30	ENCERRAMENTO E ENTREGA CERTIFICADOS	HALL PRINCIPAL BLOCO C67

ORDEM DAS APRESENTAÇÕES DE TRABALHOS

SEGUNDA-FEIRA (15/04)
PRESENCIAL - AUDITÓRIO PEU - 14h

TÍTULO	ÁREA	APRESENTADOR
MODELOS CONSTITUTIVOS PARA UHPC: COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DOS MODELOS CONSTITUTIVOS DE CARREIRA & CHU MODIFICADOS ATRAVÉS DE REGRESSÃO NÃO LINEAR	Materiais	Guilherme Naoto Endo
CALIBRAÇÃO DE MODELO NUMÉRICO PARA VIGA MISTA COM LAJE NERVURADA DE UHPC COM FIBRAS	Análise Numérica	Vinícius Gabriel Parolin de Souza
ESTUDO NUMÉRICO DOS CONECTORES T- PERFOBOND COM MESA NÃO SOLDADA EM VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO	Análise Numérica	André Tenchini da Silva
ESTUDO COMPARATIVO DO CUSTO DE VIGAS MISTAS DE AÇO-CONCRETO COM STUD BOLT E CONECTOR TRELIÇADO	Projetos	Eric Mateus Fernandes Bezerra
EFICIÊNCIA DE REFORÇOS UTILIZANDO CHAPAS DE AÇO NOS PERFIS I DE VIGA MISTA EXISTENTE	Análise Numérica	Douglas Fernandes dos Santos
COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS NORMATIVOS PARA O CÁLCULO DA CAPACIDADE RESISTENTE DE PILARES MISTOS DE SEÇÃO CIRCULAR PREENCHIDOS COM CONCRETO	Análise Numérica	Guilherme Amorim
ANÁLISE DE LIGAÇÕES METÁLICAS PARAFUSADAS: NBR 8800 X SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	Análise Numérica	Dyorgge Alves Silva
EMPREGO DE ADESIVO EPOXI-GEL PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA LAMELADA CRUZADA (CLT) COM MADEIRA DE PINUS SPP	Ensaios Experimentais	Gustavo Savaris
INVESTIGAÇÃO DE COLUNAS TIPO DOUBLE-SKIN PREENCHIDAS COM CONCRETO	Projetos	Fernanda Lins Gonçalves Pereira

SEGUNDA-FEIRA (15/04)

REMOTA - GOOGLE MEET - 14h

TÍTULO	ÁREA	APRESENTADOR
COMPORTAMENTO AO FOGO DE LAJES MISTAS COM CHAPA DE AÇO COLABORANTE	Situação de Incêndio	Paulo A. G. Piloto
CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PLASTICIDADE DANIFICADA DO CONCRETO PARA LAJES LISAS NO ABAQUS	Análise Numérica	Vinícius D´Almeida Rodrigues Ramos
MODELAGEM COMPUTACIONAL DE ENSAIOS DO TIPO PUSH-OUT EM LAJES MISTAS COM FÔRMA METÁLICA INCORPORADA	Análise Numérica	Daniel Marcos de Lima e Silva
ANÁLISE NUMÉRICA DE ENSAIO PUSH-OUT COM CONECTORES HILTI X-HVB	Análise Numérica	Elaine Ferreira de Oliveira
MODELAGEM NUMÉRICA DO ENSAIO PUSH-OUT COM CONECTOR DE CISALHAMENTO TRELIÇADO RETO	Análise Numérica	Paulo Henrique Roberto Moura
ANÁLISE NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE PISOS MISTOS DE PEQUENA ALTURA COM INOVADORA CONEXÃO DE CISALHAMENTO	Análise Numérica	Tainá Mascarenhas Borghi
ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DE EUCALIPTO E SUA VIABILIDADE COMO ADIÇÃO À COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	Sustentabilidade	Alexandre Milchert
INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DA RESPOSTA DINÂMICA DE VIGAS CAIXÃO DE AÇO PARA DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE FABRICAÇÃO	Ensaio Experimentais	Max de Castro Magalhães

TERÇA-FEIRA (16/04)
PRESENCIAL - AUDITÓRIO PEU - 10h30min

TÍTULO	ÁREA	APRESENTADOR
PILARES TUBULARES PREENCHIDOS COM CONCRETO DE SEÇÃO CIRCULAR COMPACTA E SEMICOMPACTA SOB FLEXO-COMPRESSÃO	Projetos	Glaubert Araujo Miranda
OTIMIZAÇÃO DE LAJES MISTAS CONTÍNUAS VIA ALGORITMO BONOBO	Projetos	Isabela Oliveira Maia da Silva
ANÁLISE DE PÓS-FLAMBAGEM EM PERFIS ALVEOLARES COM FLANGES TUBULARES CARREGADOS AXIALMENTE	Análise Numérica	Leonardo André Rossato
ANÁLISE NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO DE PILARES MISTOS PREENCHIDOS DE CONCRETO	Análise Numérica	Lucas Mognon Santiago Prates
ANÁLISE NUMÉRICA DE CONEXÕES METÁLICAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	Situação de Incêndio	Mariana Masiero Fianco
POTENCIALIDADE DE APLICAÇÃO DE UHPC EM ESTRUTURAS MISTAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA	Materiais	Paulo Roberto Lopes Lima
AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO CONFINADO EM PILARES MISTOS DE AÇO E CONCRETO	Análise Numérica	Gustavo Almeida de Moura
FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO COM LAJES ALVEOLARES PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO	Projetos	Jonas da Rocha
ANÁLISE EXPERIMENTAL DE COLUNAS DOUBLESKIN EM AÇO INOXIDÁVEL E AÇO CARBONO SUBMETIDAS À FLEXO-COMPRESSÃO	Ensaios Experimentais	Monique Cordeiro
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO DE CONECTORES DE CISALHAMENTO FORMADOS A FRIO	Análise Numérica	Jerfson Moura Lima

TERÇA-FEIRA (16/04)
REMOTA - GOOGLE MEET - 10h30min

TÍTULO	ÁREA	APRESENTADOR
CAPACIDADE RESISTENTE À INSTABILIDADE NO MONTANTE DE ALMA DE VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO COM ABERTURAS DE BASE ELÍPTICA	Análise Numérica	Eduardo Vedovetto Santos
ANÁLISE DE MODELOS DE DIMENSIONAMENTO PARA PILARES MISTOS PARCIALMENTE REVESTIDOS	Projetos	Bruno Bianchi Marques
ESTUDO DE DANO EM NÓ DE PÓRTICO DE CONCRETO DE ULTRA-ALTO DESEMPENHO REFORÇADO COM FIBRAS METÁLICAS E PVA: UMA ABORDAGEM NUMÉRICA	Análise Numérica	Gabryel Vitorio Gotardi Magoga
MODELAGEM NUMÉRICA AVANÇADA DE LAJES LISAS EM ESTRUTURAS MISTAS	Análise Numérica	João Batista Albuquerque Bastos de Sousa
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO SUBMETIDAS A MOMENTO FLETOR NEGATIVO PARA MODELOS CONSTITUTIVOS DO AÇO	Análise Numérica	Juliano Branjao Zonta
CONTROLE DA RESPOSTA SÍSMICA DE PÓRTICO PLANO UTILIZANDO AMORTECEDORES VISCOZOS	Análise Numérica	Patrick de Oliveira Batista da Costa
ESTUDO COMPARATIVO DAS FORÇAS AXIAIS RESISTENTES DE CÁLCULO À COMPRESSÃO DE PILARES MISTOS TOTALMENTE REVESTIDOS OBTIDAS PELO MÉTODO DOS ESTADOS LIMITES	Projetos	Roberto da Silva Souza
DETECÇÃO DE DANOS EM VIGAS 2D, UTILIZANDO WAVELET E ELEMENTOS DE CONTORNO	Análise Numérica	Rafael de Sá
VIGAS CELULARES DE AÇO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	Inovação	Vítor Augusto Pazin

QUARTA-FEIRA (17/04)
REMOTA - GOOGLE MEET - 13h30min

TÍTULO	ÁREA	APRESENTADOR
MATERIAIS INOVADORES EM PROL DO CONFORTO TÉRMICO	Materiais	Andressa França da Silva
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS ESTÁTICOS E DINÂMICOS NO DIMENSIONAMENTO DE TORRES METÁLICAS	Análise Numérica	Diego Rizzotto Rossetto
PROPOSTA DE CONECTOR A BASE DE MADEIRA PARA ESTRUTURAS MISTAS DE MADEIRA E CONCRETO	Materiais	Filipe Luigi D. L. Santos
COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ALVENARIAS CONFECCIONADAS COM TIJOLOS ECOLÓGICOS	Sustentabilidade	Francielly Las Casas
MODELAGEM COMPUTACIONAL DE VIGAS MISTAS: UMA ABORDAGEM COM FOCO NA INTERFACE AÇO-CONCRETO	Análise Numérica	Leonardo Carvalho Mesquita
MÉTODOS DE PROJETO PARA PILARES MISTOS CURTOS CIRCULARES PREENCHIDOS COM CONCRETO RECICLADO SUJEITOS A CARGA AXIAL CENTRADA	Projetos	Maicon de Freitas Arcine
AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES DA RESISTÊNCIA DE ARRANCAMENTO DE PINOS COM CABEÇA EMBUTIDOS EM CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE AÇO	Ensaios Experimentais	Aaron Kadima Lukanu Lwa Nzambi

QUARTA-FEIRA (17/04)
REMOTA - GOOGLE MEET - 13h30min

TÍTULO	ÁREA	APRESENTADOR
AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO CELULAR ESPUMOSO PRODUZIDO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR CINZAS DE CASCA DE ARROZ	Sustentabilidade	Julia Costa Abdala
ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM USO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO	Sustentabilidade	Lucas Thadeu da Silva Ramos
CAPACIDADE FINAL DE SEÇÕES Z DE FORMAÇÃO A FRIO COM REFORÇOS DE ALMA: EXPERIMENTOS E SIMULAÇÕES POR ELEMENTOS FINITOS	Ensaio Experimentais	Diego Fernandes
VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA E EFICIÊNCIA CONSTRUTIVA DAS ESTRUTURAS MISTAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	Processos Construtivos	José Aroldo Menezes Costa
LOAD-DISPLACEMENT BEHAVIOR OF COMPOSITE REBAR TRUSS RIBBED SLABS WITH COLD-FORMED LIPPED CHANNELS	Ensaio Experimentais	Lucas Fadini Favarato
EFEITOS DO CARREGAMENTO NA QUALIDADE DO CONCRETO ATRAVÉS DO ENSAIO DE ULTRASSOM	Monitoramento	Elvys Dias Reis
CAPACIDADE RESISTENTE DE CONECTORES COMPOSITE DOWELS COMO DISPOSITIVOS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA EM PILARES MISTOS PREENCHIDOS DE CONCRETO	Inovação	Rafael Eclache Moreira de Camargo

ÍNDICE

ANÁLISE NUMÉRICA

Análise comparativa entre métodos estáticos e dinâmicos no dimensionamento de torres metálicas <i>D.R. Rossetto; F. Frizon</i>	26
Análise de ligações metálicas parafusadas: NBR 8800 x simulação computacional <i>J.C. Reisdorfera; D.A. Silva; L.J.F. Ferreira</i>	34
Análise de pós-flambagem em perfis alveolares com flanges tubulares carregados axialmente <i>L. A. Rossato; C.H. Martins; A. Rossi; E. G. Mendes; T. F. Rodolpho</i>	42
Análise de sensibilidade de vigas mistas de aço e concreto submetidas a momento fletor negativo para modelos constitutivos do aço <i>J.B. Zonta; F. P. V. Ferreira; A. Rossi</i>	52
Análise numérica de ensaio push-out com conectores HILTI X-HVB <i>E. F. Oliveira; F. T. Souza; G.D. Paula</i>	61
Análise numérica do comportamento à flexão de pisos mistos de pequena altura com inovadora conexão de cisalhamento <i>T. M. Borghi; B. B. Marques; F. G. B. S. Oliveira; S. Nardin; A. L. H. C. El Debs</i>	71
Análise numérica do comportamento de pilares mistos preenchidos de concreto <i>L. M. S. Prates; C. H. Martins; F. P. V. Ferreira; H. C. A. Tavares; I. E. S. Ribeiro; J. Y. Namba; V. M. Oliveira</i>	79
Avaliação do comportamento do concreto confinado em pilares mistos de aço e concreto <i>G. A. Moura; V. G. P. Souza; A.V. Benedito; V. M. Oliveira; P.A Krahl; C.H. Martins</i>	87
Calibração de modelo numérico para viga mista com laje nervurada de UHPC com fibras <i>V. G. P. Souza, G. A. Moura, A. V. Benedito, P. A. Krahl; C.H. Martins</i>	95
Calibração dos parâmetros de plasticidade danificada do concreto para lajes lisas no ABAQUS <i>V. A. R. Ramos; E. A. P. Liberati; L. M. Trautwein</i>	104
Capacidade resistente à instabilidade no montante de alma de vigas mistas de aço e concreto com aberturas de base elíptica <i>E. V. Santos; F. P. V. Ferreira; C. H. Martins</i>	113
Comparação entre os métodos normativos para o cálculo da capacidade resistente de pilares mistos de seção circular preenchidos com concreto <i>E. A. Bolandim; R. S. Nicoletti; G. A. N. Amorim; A. S. C. Souza</i>	122
Controle da resposta sísmica de pórtico plano utilizando amortecedores viscosos <i>P. O. B. Costa; L. A. Aguiar; A. C. Preuss</i>	132
Deteção de danos em vigas 2d; utilizando wavelte e elementos de contorno <i>S. Rafael; G. Gilbertoa; S. Ramon</i>	140
Eficiência de reforços utilizando chapas de aço nos perfis I de viga mista existente <i>D. F. Santos; C. H. Martins; F. P. V. Ferreira</i>	148

Estudo de dano em nó de pórtico de concreto de ultra-alto desempenho reforçado com fibras metálicas e PVA: uma abordagem numérica <i>G. V. G. Magoga; G. S. Silveira; G. M. S. Gidrão</i>	157
Estudo numérico dos conectores T-perfobond com mesa não soldada em vigas mistas de aço e concreto <i>F. S. S. Costa; A. T. Silva; M. C. Rodrigues</i>	166
Modelagem computacional de ensaios do tipo push-out em lajes mistas com fôrma metálica incorporada <i>D. M. L. Silva; S. S. G. Jaymeb; A. G. A. Fonseca; H. S. Cardoso; G. S. Alencar; R. M. Lameiras</i>	174
Modelagem computacional de vigas mistas: uma abordagem com foco na interface aço-concreto <i>L. C. Mesquita; M. G. Marques</i>	182
Modelagem numérica avançada de lajes lisas em estruturas mistas <i>J. B. A. B. Sousa; J. B. M. Sousa Jr.</i>	191
Modelagem numérica do ensaio push-out com conector de cisalhamento treliçado reto <i>P. H. R. Moura; R. S. Y. R. C. Silva; J. M. Lima; G. H. S. Rodrigues; E. M. F. Bezerra</i>	199
Simulação numérica do comportamento de conectores de cisalhamento formados a frio <i>L. C. L. Sousa; J. M. Lima; G. S. Vieira; P. H. R. Moura; E. M. F. Bezerra</i>	210
ENSAIOS EXPERIMENTAIS	
Análise experimental de colunas doubleskin em aço inoxidável e aço carbono submetidas à flexo-compressão <i>D. M. Ribeiro; L. R. O. Lima; M. C. Rodrigues</i>	221
Avaliação da resistência ao arrancamento de pinos artesanais embutidos em CRFA <i>A. K. L. L. Nzambi; V. F. Seixas; D. R. C. Oliveira</i>	229
Capacidade final de seções Z de formação a frio com reforços de alma: experimentos e simulações por elementos finitos <i>D. Fernandes; F. T. S. Sales; A. L. Lima; G. Alencar; L. Veloso; E. Pereira; F. Piveta; M. Comim; V. Moura; J. H. M. Paula</i>	237
Emprego de adesivo epóxi-gel para produção de painéis de madeira lamelada cruzada (CLT) com madeira de pinus SPP <i>O. A. S. Bodanese; G. Savaris; F. N. Cavalheiro</i>	252
Investigação experimental da resposta dinâmica de vigas caixão de aço para diferentes configurações de fabricação <i>M. C. Magalhaes; R. C. Barreto</i>	264
Load-displacement behavior of composite rebar truss ribbed slabs with cold-formed lipped channels <i>L. F. Favarato; A. V. S. Gomes; D. C. M. Candido; J. A. Ferrareto; J. C. Vianna; A. F. G. Calenzani</i>	274

INOVAÇÃO

Capacidade resistente de conectores composite dowels como dispositivos de transferência de carga em pilares mistos preenchidos de concreto e em pilares
R. E. M. Camargo; R. B. Caldas; L. R. Santos; R. H. Fakury 283

Vigas celulares de aço: uma revisão sistemática de literatura
V. A. Pazin; F. P. V. Ferreira; S. D. Nardin 293

MATERIAIS

Materiais inovadores em prol do conforto térmico
A. F. Silva; A. P. Paiva; A. P. Paiva; V. M. Á. Soares..... 303

Comparação dos parâmetros dos modelos constitutivos de Carreira & Chu modificados através de regressão não linear
G. N. Endo; R. D. Vanderlei..... 310

Potencialidade de aplicação de UHPC em estruturas mistas para geração de energia eólica
P. R. L. Lima; M. M. Amiri; M. Shadman; S. F. Stefen; R. D. T. Filho..... 318

Proposta de conector a base de madeira para estruturas mistas de madeira e concreto
F. L. D. L. Santos; A. C. Lima; R. D. A. Cunha; S. F. César 328

MONITORAMENTO

Efeitos do carregamento na qualidade do concreto através do ensaio de ultrassom
E. D. Reis; R. M. Costa 337

PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Viabilidade técnico-financeira e eficiência construtiva das estruturas mistas na construção civil
J. A. M. Costa..... 346

PROJETOS

Análise de modelos de dimensionamento para pilares mistos parcialmente revestidos
B. B. Marques; F. G. B. S. Oliveira; T. M. Borghi; M. F. P. Milani; A. L. H. C. ElDebs..... 355

Estudo comparativo das forças axiais resistentes de cálculo à compressão de pilares mistos totalmente revestidos obtidas pelo método dos estados limites de acordo com a ABNT NBR 8800:2008 e AISC:360-22
R. S. Souza; W. S. Fernandes 363

Estudo comparativo do custo de vigas mistas de aço-concreto com stud bolt e conector treliçado
M. A. Rocha; M. B. G. Filho; E. M. F. Bezerra; J. M. Lima; R. S. Y. R. C. Silva; L. M. Bezerraf.. 373

Ferramenta computacional para dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto com lajes alveolares pré-moldadas de concreto
J. Rocha; G. G. O. Silva; J. V. F. Dias; A. F. G. Calenzani 384

Investigação de colunas tipo double-skin preenchidas com concreto
I. T. Gonçalves; F. L. G. Pereira; M. C. Rodrigues 394

Métodos de projeto para pilares mistos curtos circulares preenchidos com concreto reciclado sujeitos a carga axial centrada
M. F. Arcine; R. Carrazedo; S. D. Nardin..... 402

Otimização de lajes mistas contínuas via algoritmo bonobo
I. O. M. Silva; M. O. Teixeira; É. C. Alves; A. F. G. Calenzani..... 412

Pilares tubulares preenchidos com concreto de seção circular compacta e semicompacta sob flexo-compressão
G. A. Miranda; A. F. G. Calenzani; W. G. Ferreira..... 422

SITUAÇÃO DE INCÊNCIDO

Análise numérica de conexões metálicas em estruturas de madeira em situação de incêndio
M. M. Fianco; G. C. A. Martins; F. M. Rocha..... 432

Comportamento ao fogo de lajes mistas com chapa de aço colaborante
P. A. G. Piloto; C. Balsa; E. K. G. Lucca 441

SUSTENTABILIDADE

Análise da utilização da cinza de eucalipto e sua viabilidade como adição à composição do concreto
A. Milchert; G. G. C. Oliveira; O. A. Sakai..... 451

Análise das propriedades do concreto com uso de rejeito de minério de ferro
H. C. B. Ferreira; L. T. S. Ramos; F. S. J. Poggiali; E. D. Reis; A. B. Mourão; I. B. Moraes..... 458

Avaliação das propriedades do concreto celular espumoso produzido com substituição parcial do cimento por cinzas de casca de arroz
J. C. Abdala; A. B. Mourão; J. N. Paula; L. T. S. Ramos; I. B. Moraes 468

Comportamento mecânico de alvenarias confeccionadas com tijolos ecológicos
F. L. Casas; F. Valim; D. Nascimento; S. Giarola; L. Santos; W. Santos 477



COMPORTAMENTO AO FOGO DE LAJES MISTAS COM CHAPA DE AÇO COLABORANTE

FIRE BEHAVIOUR OF COMPOSITE SLABS WITH COLLABORATING STEEL DECK

Paulo A. G. Piloto^{*a}, Carlos Balsa^b, Erica Kimura^c e Gabriel Lucca^d

^a GICoS, Instituto Politécnico de Bragança
E-mail: ppiloto@ipb.pt

^b Instituto Politécnico de Bragança
E-mail: balsa@ipb.pt

^c Universidade Tecnológica Federal do Paraná
E-mail: ekimura@professores.utfpr.edu.br

^d Instituto Politécnico de Bragança
E-mail: a57032@ipb.pt

*Autor correspondente

RESUMO

Na construção de edifícios de grande altura com elementos mistos, o tempo de construção é crucial. A construção mista, como aplicação de lajes mistas com chapa de aço colaborante é uma alternativa viável, amplamente adotada nos EUA e Europa, acelerando o processo construtivo. Testes à escala real, como os do BRE, demonstram a resiliência ao incêndio das estruturas mistas, atendendo aos requisitos de segurança do Eurocódigo através de testes laboratoriais dispendiosos. O Método dos Elementos Finitos (MEF) surge como uma alternativa, depois da validação dos modelos. Este estudo comparou o resultado das simulações térmicas com ensaios experimentais, com o objetivo de avaliar a capacidade portante em condições de incêndio. A laje foi modelada no software ANSYS, reflete as características da laje experimental, composta por chapa de aço galvanizado, lã de rocha, concreto e barras de reforço em aço. Este trabalho permitiu desenvolver um modelo numérico, validando a sua eficácia na simulação do comportamento de isolamento térmico do elemento misto.

Palavras-chave: Construção mista; Segurança contra incêndio; Método dos Elementos Finitos.

ABSTRACT

During the construction of high-rise buildings with composite elements, construction time is crucial. Composite construction, such as the application of composite slabs with collaborating steel decks, is a viable alternative, widely adopted in the USA and Europe, accelerating the building process. Full-scale tests, such as BRE, demonstrate the fire resilience of composite structures, when compared to Eurocode safety requirements through expensive laboratory tests. The Finite Element Method (FEM) appears as an alternative, after validation of the models. This study compared the results of thermal simulations with experimental tests, to evaluate the ability to sustain the load under fire conditions. The composite slab was modelled with ANSYS software, reflecting the characteristics of the experimental slab, protected by a galvanized steel deck, rock wool, concrete and steel reinforcement bars. This work allowed the development of a numerical model, validating its accuracy in simulating the thermal insulation behaviour of the composite element.

Keywords: Composite construction; Fire safety; Finite Element Method.



1. INTRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento de um edifício, é crucial considerar a eficiência temporal, especialmente no que diz respeito à construção de andares tipo. Nesse contexto, a utilização de construção mista surge como uma alternativa viável em comparação com os métodos tradicionais (Johnson, 2004). As estruturas mistas já são utilizadas em larga escala em diversos tipos de edifícios. Este método de construção tornou-se popular, inicialmente nos Estados Unidos e posteriormente ganhou popularidade no Reino Unido e na Europa (Hamerlinck, 1991). Habitualmente, este elemento é definido com uma altura variável entre 100 e 150mm com vãos entre 2.5 e 3.6 m e espessura de chapa de aço variável entre 0.7 e 1.5 mm (Cooke, 1988). A utilização deste tipo de elementos desempenha um papel fundamental na aceleração do processo construtivo. Este sistema atua como uma cofragem para o betão, mas também se integra ao sistema estrutural por meio de geometrias mais comuns em formato trapezoidal e reentrante, (Queiroz, 2012).

Para que um elemento possa ser utilizado, é necessário que atenda aos requisitos das normas técnicas relacionadas a incêndios, como é o caso do Eurocódigo 1994-1-2 (2005) na Europa. Esses critérios exigem uma série de testes em laboratórios, com elevado custo e que necessitam de um longo período para serem executados. Para atingir esses requisitos de segurança contra incêndio exigidos pela norma, os elementos são submetidas a experimentos laboratoriais utilizando a curva padrão de incêndio ISO 834 (1999), que avalia os resultados em relação a capacidade de carga (R), integridade (E) e isolamento (I).

A capacidade de suporte de carga é definida como a capacidade em sustentar a carga definida (fator de carga) sem sofrer o colapso, por deformação ou taxas de deformação excessivas. Para avaliar a capacidade, são definidos dois critérios, limite de deslocamento vertical ($D=L^2/400d$ [mm]) e taxa de deslocamento vertical ($dD/dt=L^2/9000d$ [mm/min]), sendo “L” o vão livre e “d” a distância da extremidade da fibra da zona de compressão do elemento a frio para a extremidade da fibra da zona de tração do projeto a frio da seção estrutural.

A característica do elemento para sustentar a passagem de gases quentes ou chama é definida por “integridade” do elemento, sendo necessário verificar a ignição de uma almofada de algodão na face não exposta e a utilização de medidores de folga.



A resistência ao fogo por isolamento, utiliza o critério de verificação da temperatura média da laje, na face não exposta, para que não ultrapasse 140 K acima da temperatura média inicial, ou nenhum ponto da face não exposta ultrapasse os 180 K, acima da temperatura média inicial.

Um dos testes em escala real mais significativos realizados em estruturas compostas de aço em condições de incêndio foi conduzido pelo *Building Research Establishment (BRE)* em Cardington, Reino Unido, em 1990. Os resultados deste teste demonstraram que a estrutura do piso composto foi capaz de suportar níveis de carga de flexão significativamente mais altos do que inicialmente previsto (Newman, 2000).

Tendo em consideração a dificuldade para ensaiar este tipo de elementos, foram desenvolvidos métodos alternativos de projeto para minimizar a necessidade desses testes realizados à escala real, em particular foram desenvolvidos métodos simplificados e métodos avançados de cálculo. O MEF está enquadrado nos métodos avançados de cálculo e prescreve uma subdivisão de um domínio contínuo de integração em pequenas regiões, chamadas de elementos finitos. Nesse procedimento, o domínio contínuo é tratado como um domínio discreto (Assan, 2020). O MEF tem sido amplamente utilizado para a análise térmica e mecânica de elementos estruturais, incluindo elementos de laje mistos. Um exemplo é o modelo proposto por Piloto et al (2019) para a avaliação da temperatura crítica em lajes mistas trapezoidais. Este modelo estudou o comportamento térmico e mecânico considerando variações na espessura da laje, utilizando o software ANSYS.

O objetivo deste estudo é desenvolver um modelo numérico capaz de prever o campo de temperatura em resposta a uma ação térmica de um incêndio. O modelo foi criado com base em uma laje comercial que possui uma camada de lã mineral integrada na estrutura com fins de isolamento térmico e acústico. Nas extremidades, a laje apresenta uma interface de betão em contato direto com chapa de aço, utilizando a geometria como meio de conexão, ver **Fig. 1**. Foi realizado um ensaio experimental à escala real, onde foram testadas duas chapas enformadas a frio, ligadas entre si. Esta ligação faz aparecer um espaço livre com, aproximadamente 2 mm, que acaba por permitir a entrada de calor. Para a obtenção dos resultados foram utilizados termopares, onde foram registradas as temperaturas em vários pontos para avaliar o desempenho térmico. Para a validação, os resultados obtidos através da simulação foram

comparados, selecionando nós do modelo que correspondem à mesma localização e características dos pontos equipados com termopares. Este estudo faz a comparação, buscando validar e aprofundar a compreensão do comportamento térmico do elemento misto.

A laje modelada no software ANSYS (**Fig. 2**) é composta por uma chapa de aço galvanizado com espessura de 1mm, lã mineral com densidade de 50 kg/m^3 , betão para suportar esforços de compressão, e barras de aço de 10 mm e 5.5 mm para suportar esforços de flexão positiva e negativa, respectivamente. A **Fig. 1** apresenta a laje que foi utilizada no estudo em laboratório.



Fig. 1: Laje ARCELOR utilizada no ensaio.

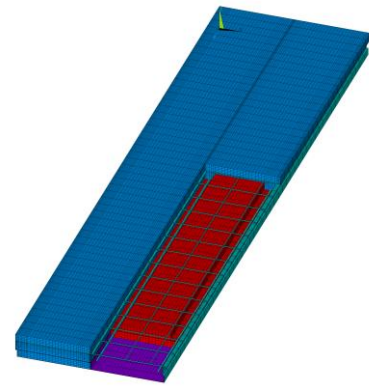


Fig. 2: Modelo de elementos finitos da laje (ANSYS).

2. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

2.1. PROPRIEDADE DOS MATERIAIS

As propriedades térmicas do betão e do aço foram obtidas a partir da norma prEN 1992-1-2 (2021), fundamentais para entender e simular o comportamento dos materiais a temperaturas elevadas. Tais propriedades são ilustradas na **Fig. 3** e **Fig. 4**, respectivamente. O modelo inclui uma camada de ar para representar o efeito da separação entre os materiais e a chapa de aço, observado por muitos investigadores durante os ensaios experimentais. As propriedades térmicas do ar foram determinadas da bibliografia (CENGEL, 2014) e estão representadas na **Fig. 5**. Por fim, as propriedades térmicas da lã mineral, foram obtidas a partir da pré norma EN 1995-1-2 (2022) e estão representadas na **Fig. 6**.

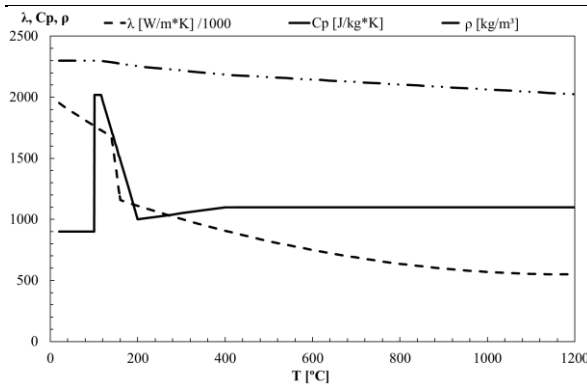


Fig. 3: Propriedades térmicas do betão.

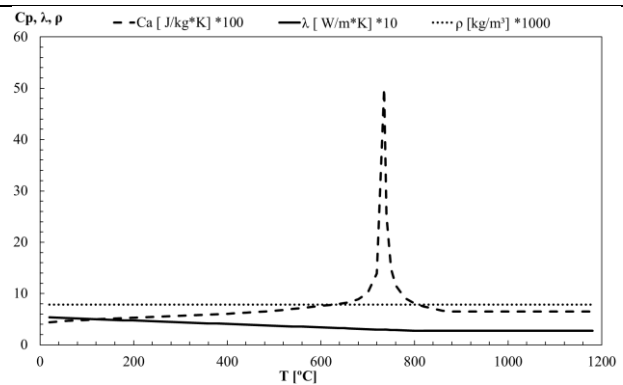


Fig. 4: Propriedades térmicas do aço.

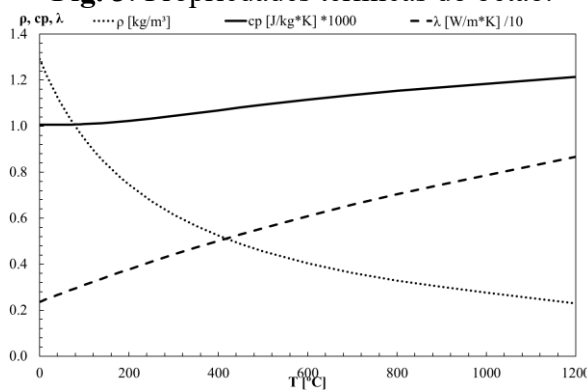


Fig. 5: Propriedades térmicas do ar.

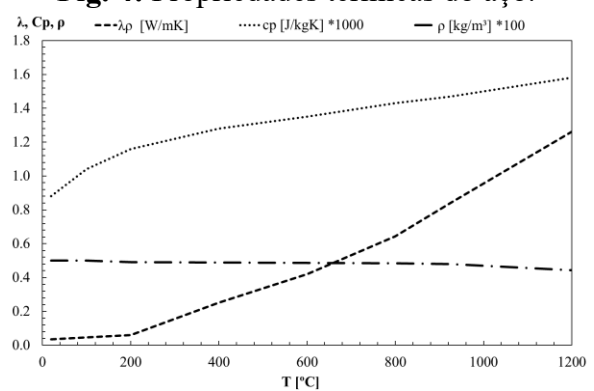


Fig. 6: Propriedades térmicas lâ mineral.

2.2. ELEMENTOS FINITOS

A simulação térmica foi realizada no software de elementos finitos ANSYS Mechanical APDL e, foram escolhidos três tipos de elementos finitos 3D para a simulação. O elemento Shell 131 é utilizado para a representação da chapa de aço. Este elemento possui até 32 graus de liberdade, variando de acordo com o número de camadas. O elemento utiliza funções de interpolação lineares no plano com o método de integração completa de Gauss (2x2), além de interpolação linear com três pontos de Gauss em sua espessura. Tratado-se de um elemento de casca, é possível implementar e simular a camada de ar formado pelo descolamento entre o betão e a chapa de aço durante o incêndio, o chamado *air gap*. O elemento Solid 70 é utilizado para a representação da lâ mineral (*rockwool*), utilizada para proteção da laje. Este elemento também é utilizado para fazer a representação do betão. O elemento Solid 70 possui oito nós, sendo que cada nó possui um único grau de liberdade. Este elemento utiliza uma função de interpolação linear e um esquema de integração completa de Gauss (2x2x2). Por fim, para a representação dos reforços e a malha de aço (200x200mm), foi utilizado o elemento Link 33.



Este elemento de barra é sobreposto na malha de betão, repartindo os mesmos nós. Permite a transferência de calor 3D, possui dois nós com apenas um grau de liberdade em cada nó.

2.3. MODELO DE CÁLCULO

O modelo térmico utiliza uma análise térmica transiente não linear 3D, o software calcula a transferência de calor com base na **Eq. (01)** e **Eq. (02)**. As equações estão representadas na forma diferencial, permitindo simular a condução de calor nos materiais. As condições de fronteira estão definidas pela igualdade entre o fluxo de calor que chega à superfície por convecção e radiação.

$$k\nabla^2 T + q = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (01)$$

$$k\nabla T \vec{n} = \alpha_c(T - T) + \phi \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma (T_G^4 - T^4) \quad (02)$$

Sendo k a condutividade térmica, p a massa específica, C o calor específico do material, q a taxa de transferência de calor, T a temperatura, t o tempo, ε_m e ε_f sendo a emissividade do material e do fogo, respectivamente, σ representa a constante de Stefan-Boltzmann (5.67×10^{-8} W/m²K⁴) e ϕ o fator de vista do elemento sujeito a radiação. O tempo t representado na **Eq. (01)** obriga a utilização de uma solução incremental.

2.4. CONDIÇÕES DE FRONTEIRA

Para a parte inferior da chapa de aço, foi utilizado um valor de emissividade da chama de $\varepsilon_f=1.0$. No entanto, para o espaço criado pela ligação das duas chapas, onde a transferência de calor é limitada devido à geometria, adotou-se um valor de ε_f . $\phi = 0,5$ para garantir que o que os resultados numéricos se aproximem dos resultados experimentais.

Para os parâmetros de convecção, os valores recomendados foram extraídos da norma EN 1991-1-2 (2002). Portanto, o coeficiente de convecção aplicado à superfície não exposta é $\alpha_c = 9$ [W/m²K] e o coeficiente de convecção para transferência de calor na face exposta, afetado pela curva de calor ISO 834, é $\alpha_c = 25$ [W/m²K]. Essas condições fronteira estão representadas na **Fig. 7**.

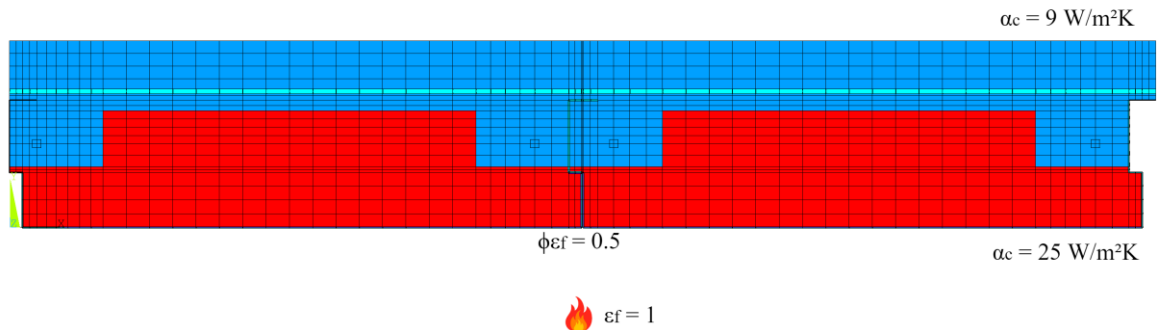


Fig. 7: Representação das condições de fronteira.

2.5. PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

O tempo de análise foi configurado para 7200 segundos, equivalente a 2 horas, refletindo o ensaio de laboratório. Para a solução incremental foi definido passo de tempo de 60 (s), com um mínimo de 1 (s) e um incremento máximo de 60 (s). Para os parâmetros de convergência do processo iterativo foi adotado o fluxo de calor com tolerância de 0.001 e valor mínimo de referência de $1\text{E-}6$ (W).

3. RESULTADOS

Os resultados no software ANSYS foram comparados com os determinados no ensaio laboratorial, procurando a localização mais próxima em relação ao ponto de medição experimental. Para comparação da evolução dos resultados no tempo foi utilizado o erro quadrático médio (RMSE). Os pontos analisados tem suas localizações representadas na **Fig. 8** e seus resultados são representados graficamente na **Fig. 9**. O ponto T1 teve um RMSE de 66,16 °C. O ponto T2 teve um RMSE de 132,55 °C. Os pontos T3 e T4 exibiram RMSE de 30,26 °C e 24,21 °C, respectivamente. O ponto T5, na barra de reforço, registrou um RMSE de 94,86 °C. Os pontos T6 e T7, na malha de aço, apresentaram RMSE de 40,20 °C e 36,95 °C, respectivamente. O ponto T8 apresentou um RMSE de 16,51 °C, e, por fim, os pontos T9 e T10 apresentaram um RMSE de 5,56 °C e 12,50 °C, respectivamente. O campo de temperatura ao fim de 7200 segundos pode ser observado na **Fig. 10**.

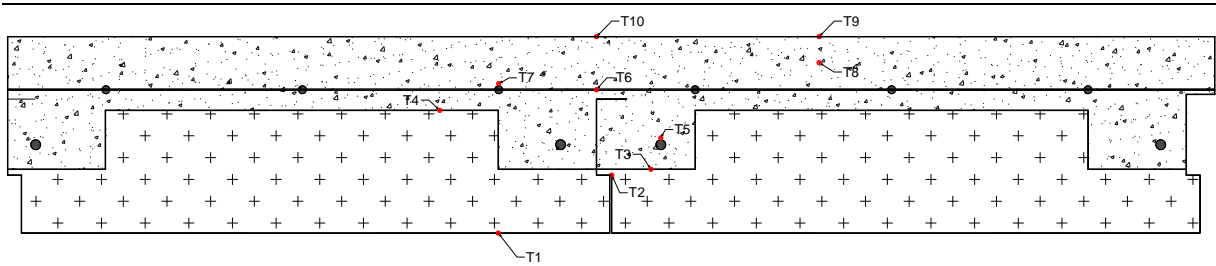


Fig. 8: Localização termopares.

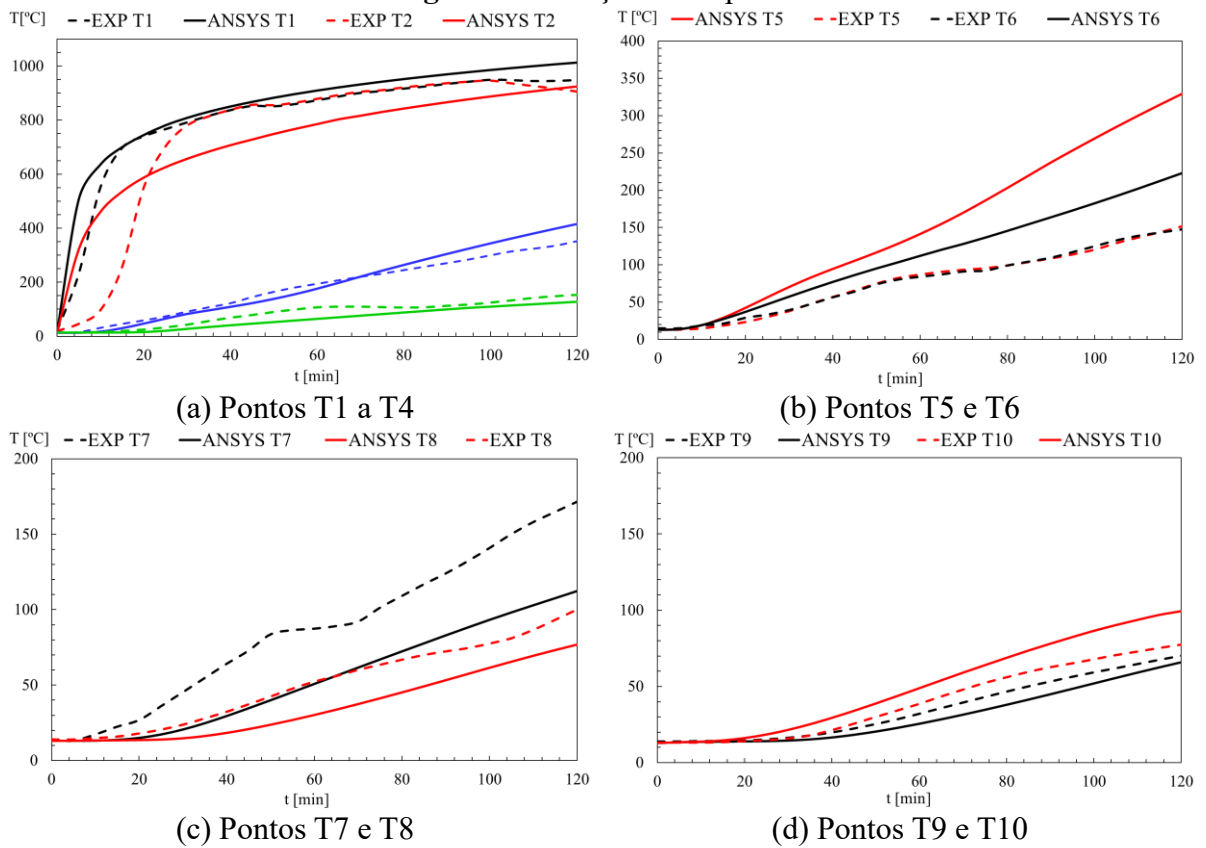


Fig. 9: Comparação de resultados.

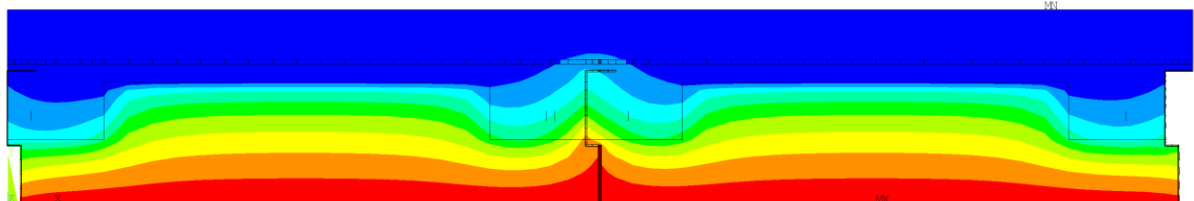


Fig. 1: Campo de temperatura a 7200s.

CONCLUSÕES

O estudo apresentou a elaboração de uma simulação térmica realizada com elementos finitos para a validação de um ensaio experimental. De acordo com a prEN 1994-1-2, o critério



de isolamento, que exige que o aumento da temperatura média no lado não exposto não ultrapasse 140K acima da temperatura média inicial, foi cumprido, uma vez que os pontos T9 e T10 atingiram temperaturas máximas de 65,79 °C e 99,50 °C, respectivamente. É possível observar que o resultado obtido pelo software difere do experimental no início do ensaio (5 a 15 min) e ao longo do tempo. Notou-se que o fator de vista da abertura de 2 mm foi um parâmetro importante para que a temperatura da simulação seja próximo da temperatura experimental nesta região. O modelo térmico é possível de ser utilizado para estudos paramétricos com o uso adequado das propriedades dos materiais e corretos parâmetros de simulação. Estão a ser realizadas mais simulações computacionais, com não linearidade material e geométrica, para determinação da capacidade portante à temperatura ambiente e resistência ao fogo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assan, Aloisio Ernesto. **Método dos elementos finitos: primeiros passos**. 3. ed. revista e ampliada. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2020
- CEN, pr EN 1992-1-2: **Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design**. Brussels, Sep. 2021.
- CEN, pr EN 1994-1-2: **Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design**. Brussels, Aug. 2005.
- CEN, pr EN 1995-1-2: **Eurocode 5 – Design of timber structures**. Brussels, Dec. 2022.
- CENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Heat and mass transfer: fundamentals and applications**. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014. 991 p. ISBN: 0077654765.
- CEN, EN1991-1-2: **Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire**. English. Supersedes ENV 1991-2-2:1995. Brussels, Nov. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.3403/00071057>.
- ISO, **ISO 834: Fire-resistance tests** — Elements of building construction. Geneva: ISO, 1999.
- JOHNSON, R. **Composite Structures of Steel and Concrete**. 3. ed. Blackwell Publishing, 2004. 230 p.
- PÍLOTO, P. A. G. et al. **Three-Dimensional Numerical Modelling of Fire Exposed Composite Slabs with Steel Deck**. MATTER: International Journal of Science and Technology, v. 5, n. 2, p. 48-67, 2019.
- NEWMAN, G. **Fire-safe design**. *Research Focus*, n. 43, p. 8, 2000.
- QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, Roberval José; MARTINS, Alexander Galvão. **Estruturas mistas. Volume 1**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.
- RACKHAM, J. W.; COUCHMAN, G. H.; HICKS, S. J. **Composite slabs and beams using steel decking: Best practice for design and construction**. Metal Cladding & Roofing Manufacturers Association in partnership with the Steel Construction Institute, 2009.