

2º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO
EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO

2º ENP
P Produção
P Projeto
P Pesquisa
CPM

SÃO CARLOS - SP / BRASIL

03/04 DE NOVEMBRO DE 2009

MODELAGEM COMPUTACIONAL DE VIGA COMPOSTA COM VIGA E LAJE PRÉ- MOLDADAS LIGADAS MEDIANTE NICHOS

Matilde Batista Melo, Eng^a. Civil, M.Sc.

Daniel de Lima Araújo, Professor, D.Sc.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOTECNIA E CONSTRUÇÃO CIVIL

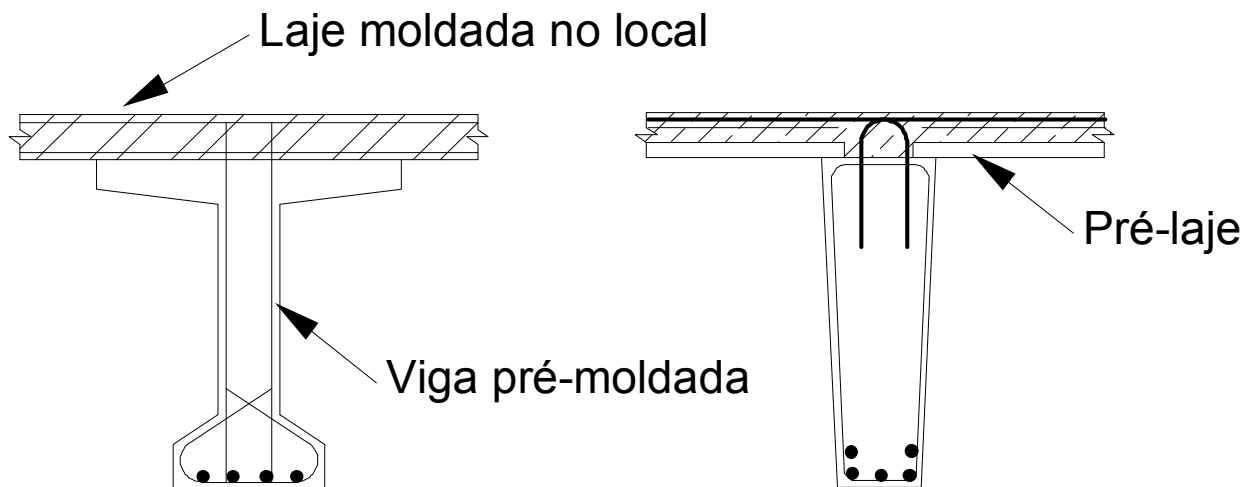


PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOTECNIA E CONSTRUÇÃO CIVIL

SISTEMA COMPOSTO

VIGA PRÉ-MOLDADA COM LAJE MOLDADA NO LOCAL

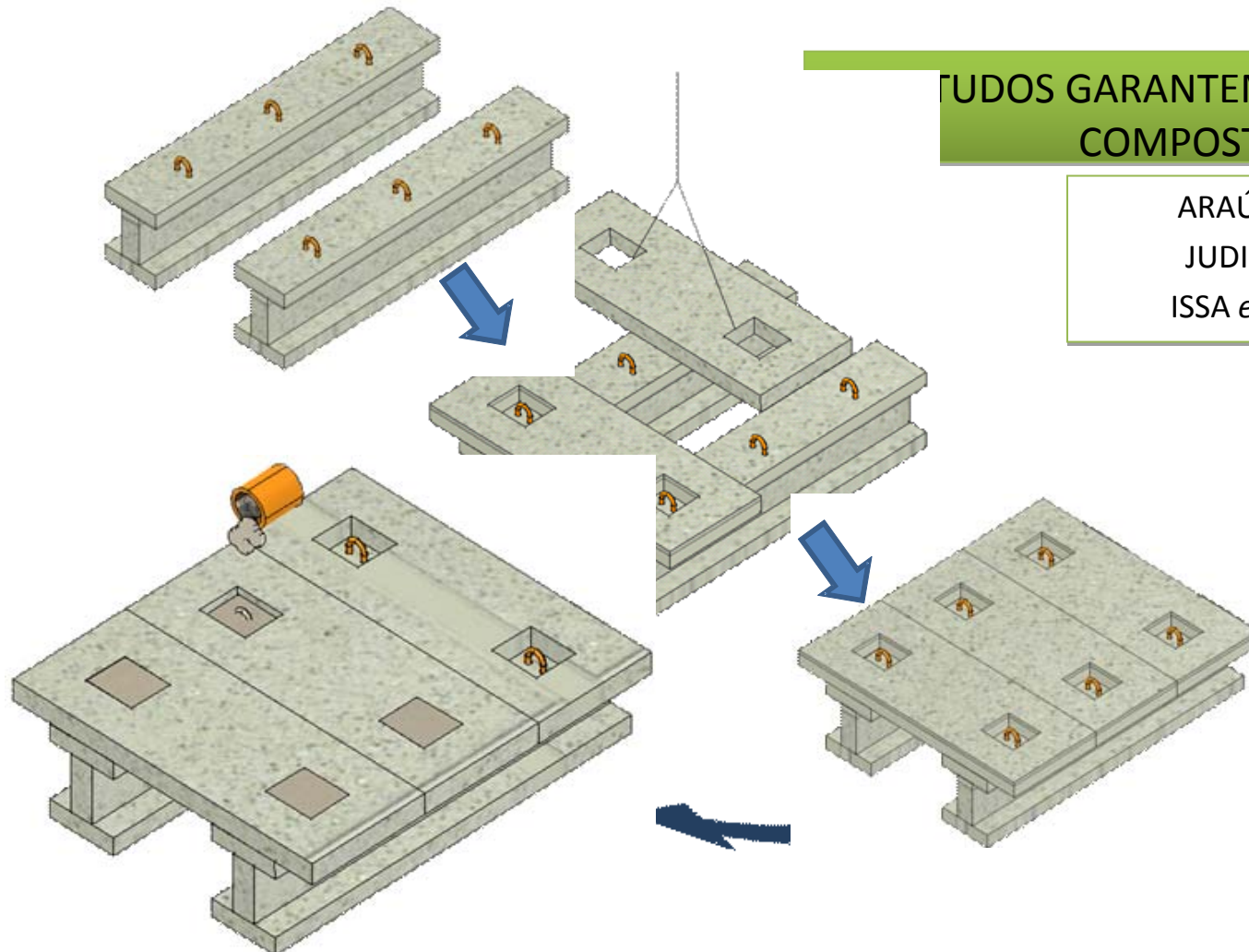
- Aplicação: Pontes com estrutura composta
- Vantagens



Viga pré-moldada com laje moldada no local



LAJE TOTALMENTE PRÉ-MOLDADA

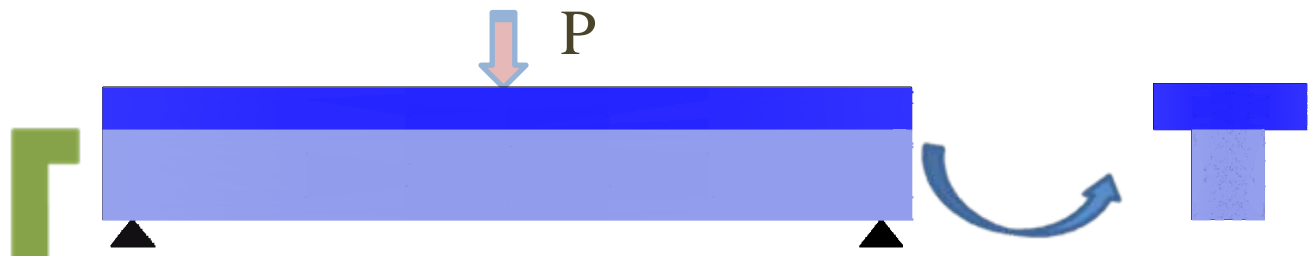


TUBOS GARANTEM A AÇÃO COMPOSTA

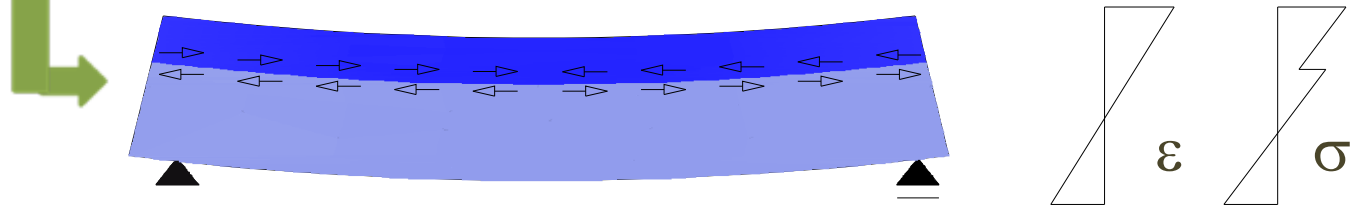
ARAÚJO (2002);
 JUDICE (2002);
 ISSA *et al.* (2006)



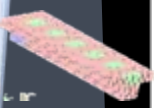
AÇÃO COMPOSTA



Interface sem transferência de tensões de cisalhamento



Interface com transferência total de tensões de cisalhamento



LAJE TOTALMENTE PRÉ-MOLDADA



www.premag.com.br



LAJE TOTALMENTE PRÉ-MOLDADA

Ponte Door Creek



Carter III *et. al.*(2007)



- NÃO EXISTEM INDICAÇÕES SEGURAS PARA DIMENSIONAMENTO DE VIGAS COMPOSTAS COM NICHOS
- NORMAS → VIGAS COMPOSTAS COM LIGAÇÃO CONTÍNUA
- LIGAÇÃO DISCRETA → HÁ ORIENTAÇÃO DAS BIELAS DE COMPRESSÃO NA VIGA PRÉ-MOLDADA

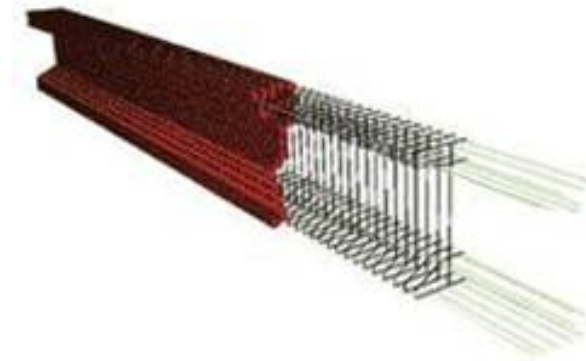
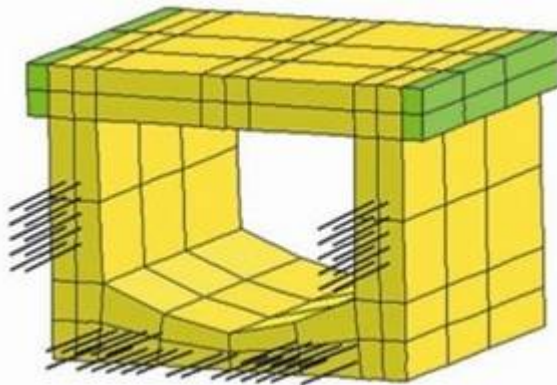
Objetivos

- AVALIAR A INFLUÊNCIA DAS TENSÕES DA INTERFACE SOBRE AS BIELAS DE COMPRESSÃO DA VIGA PRÉ-MOLDADA QUANDO A LIGAÇÃO É DISCRETA
- COMPARAR OS RESULTADOS COM VALORES OBTIDOS DE MODELOS ANALÍTICOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA



MODELAGENS COMPUTACIONAIS

PROGRAMA DIANA[®] RELEASE 9.3 (TNO, 2008)

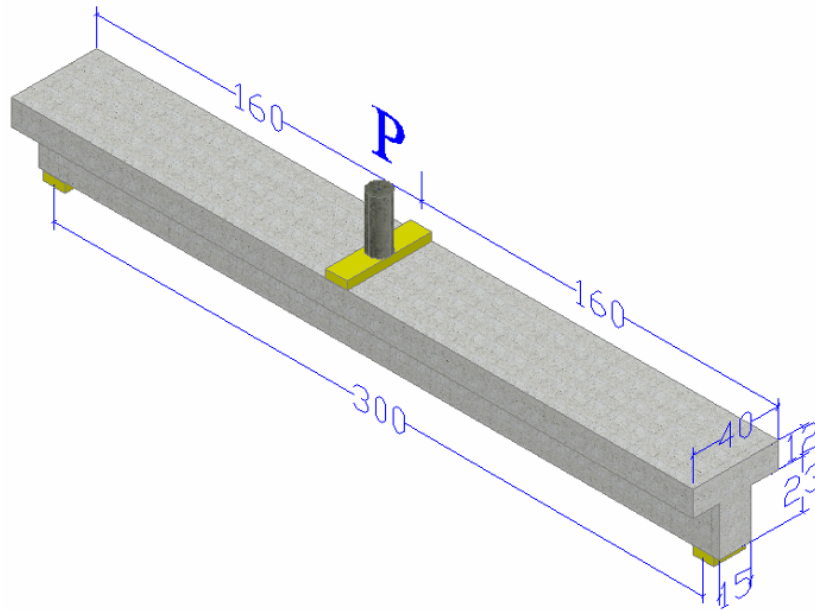


- Modelos constitutivos utilizados
 - Deformação total com fissuração fixa (fissuração distribuída)
 - Modelo parabólico à compressão
 - Modelo com amolecimento linear à tração (G_f)
 - Fator de retenção ao cisalhamento (β): 0,01
 - Módulo de rigidez transversal (D_t) da interface: $40 \times 10^9 \text{ N/m}^2/\text{m}$

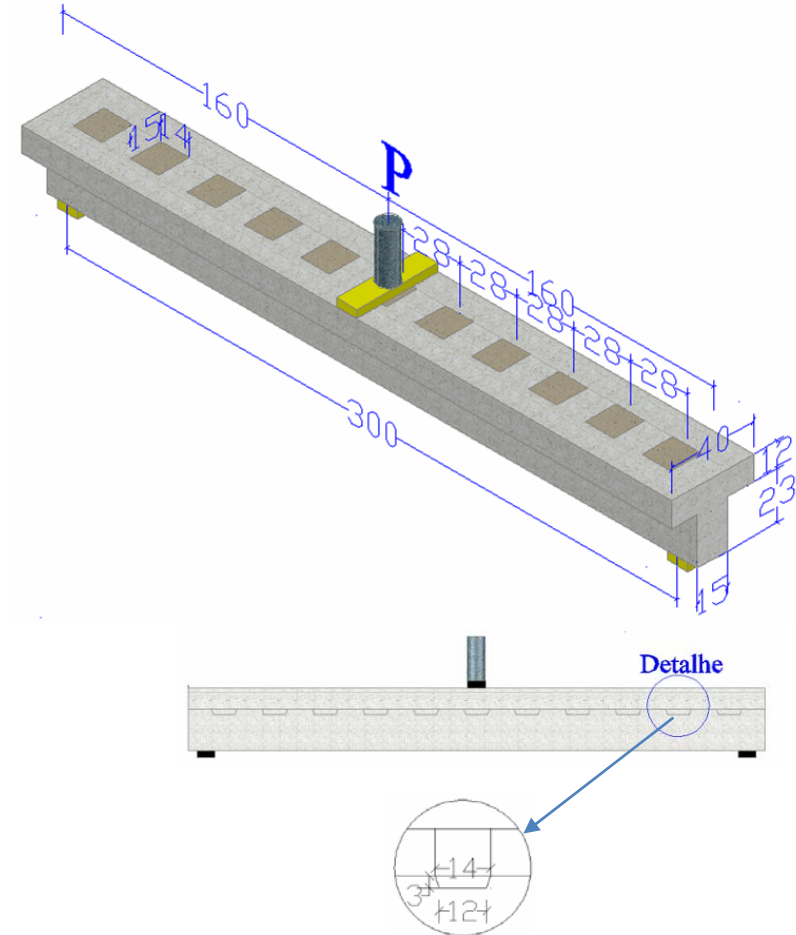


ARAUJO (2002)

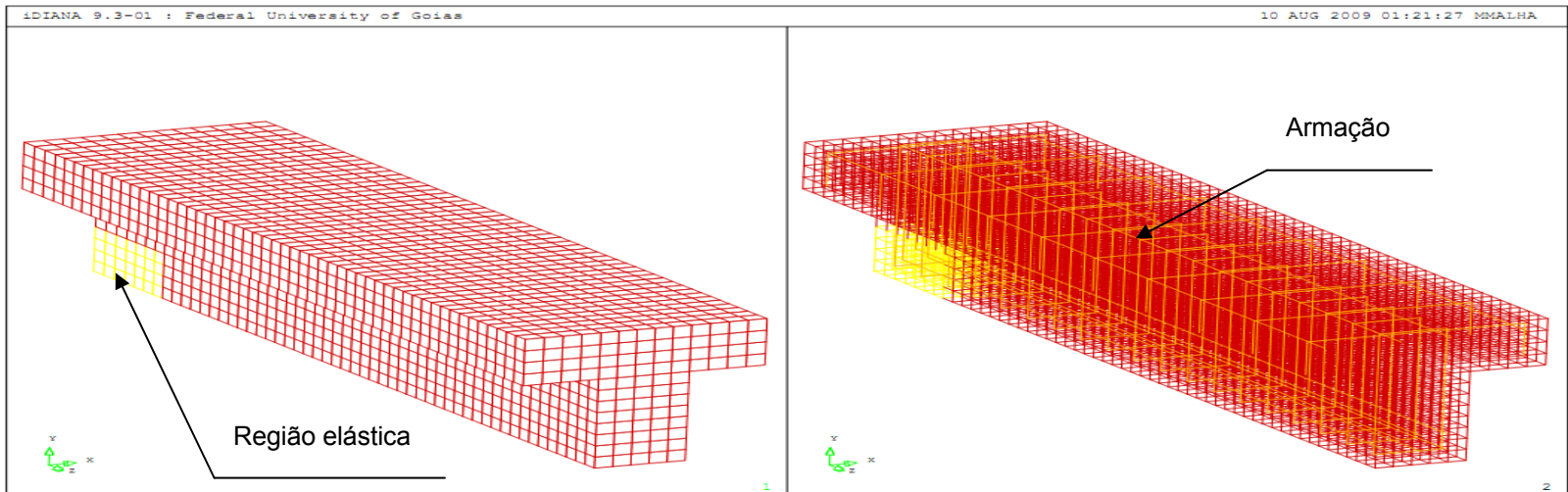
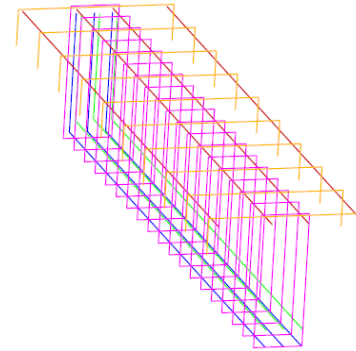
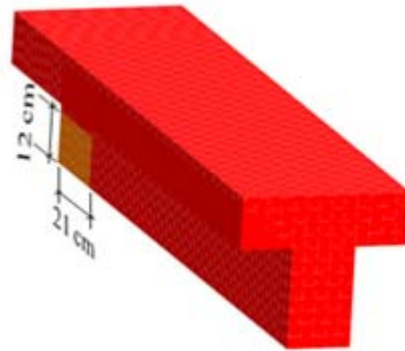
VIGA MONOLÍTICA



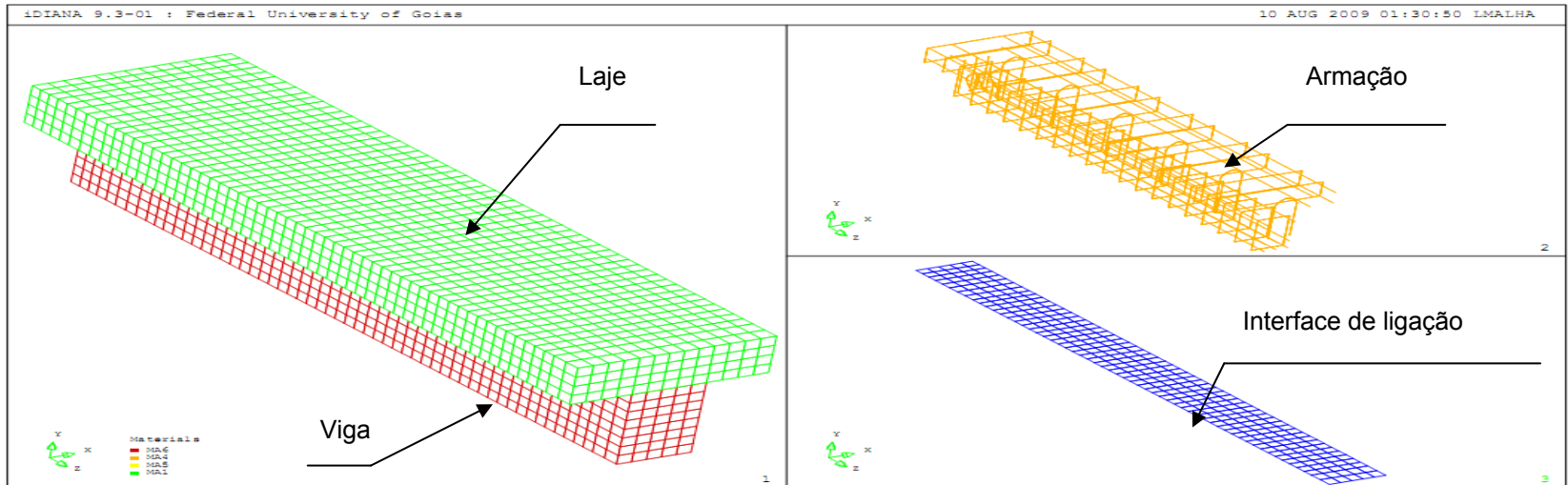
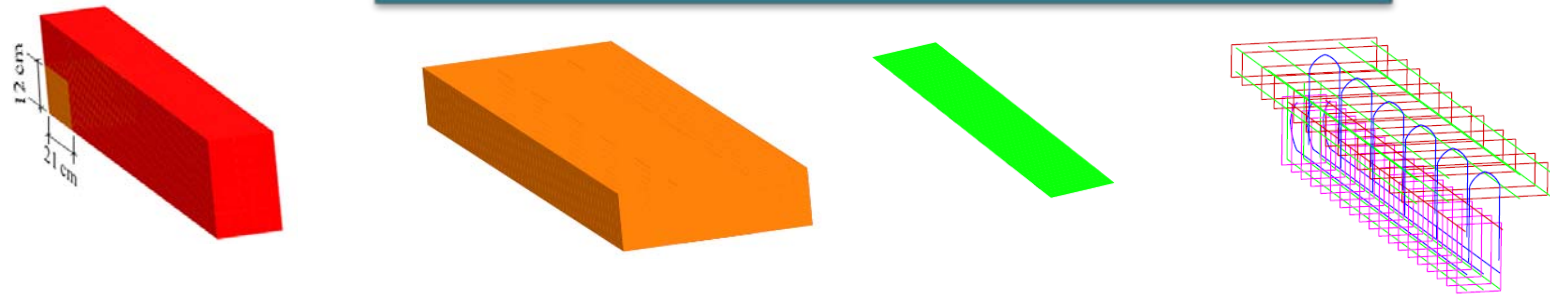
VIGA COMPOSTA



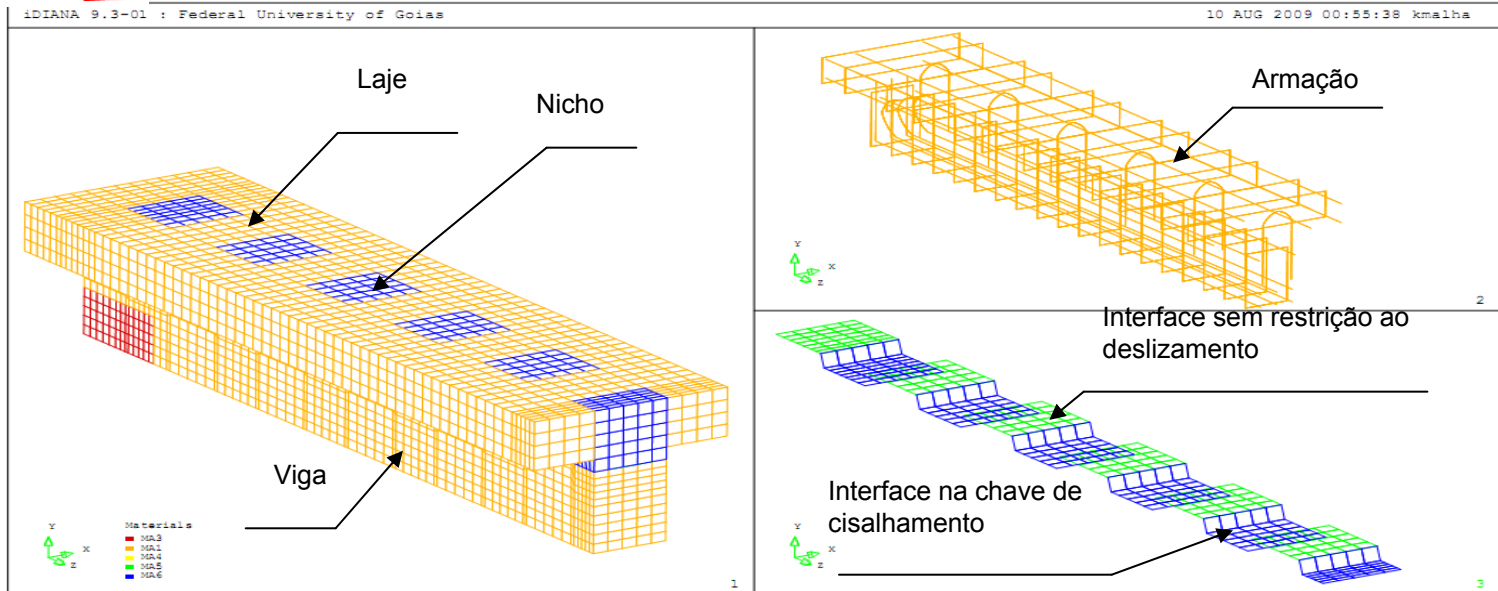
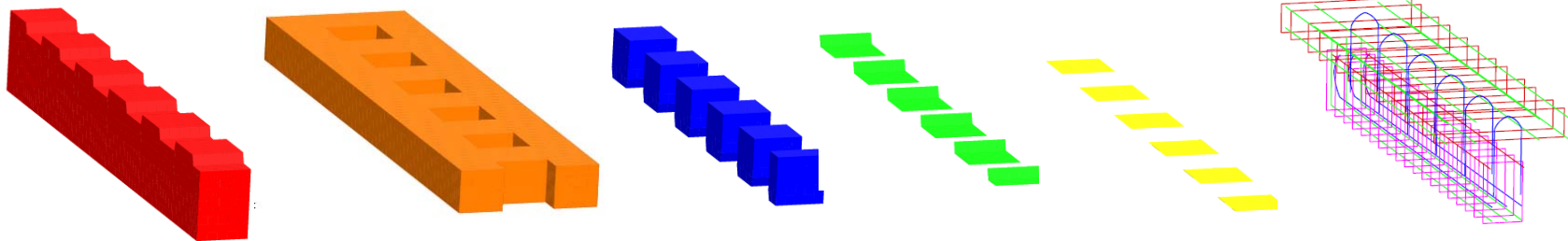
MODELO DE VIGA MONOLÍTICA



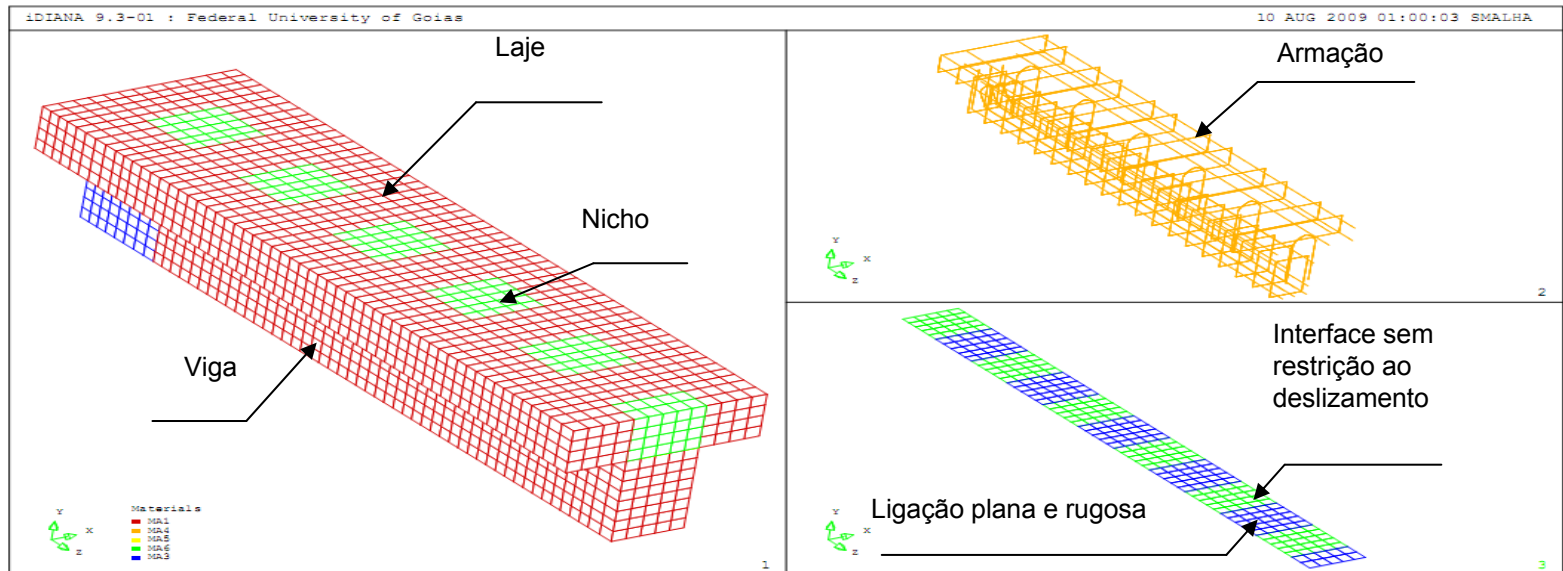
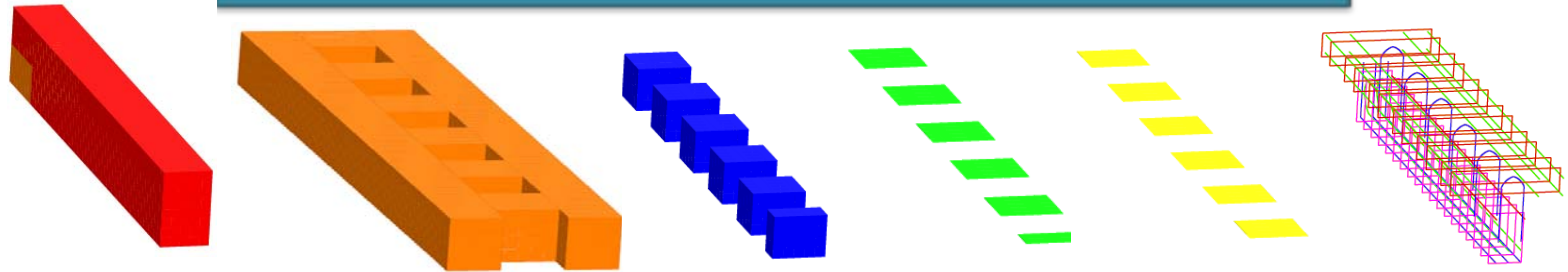
MODELO COM LAJE MOLDADA NO LOCAL



MODELO DE VIGA COMPOSTA COM CHAVE DE CISCALHAMENTO



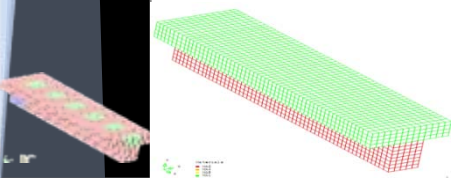
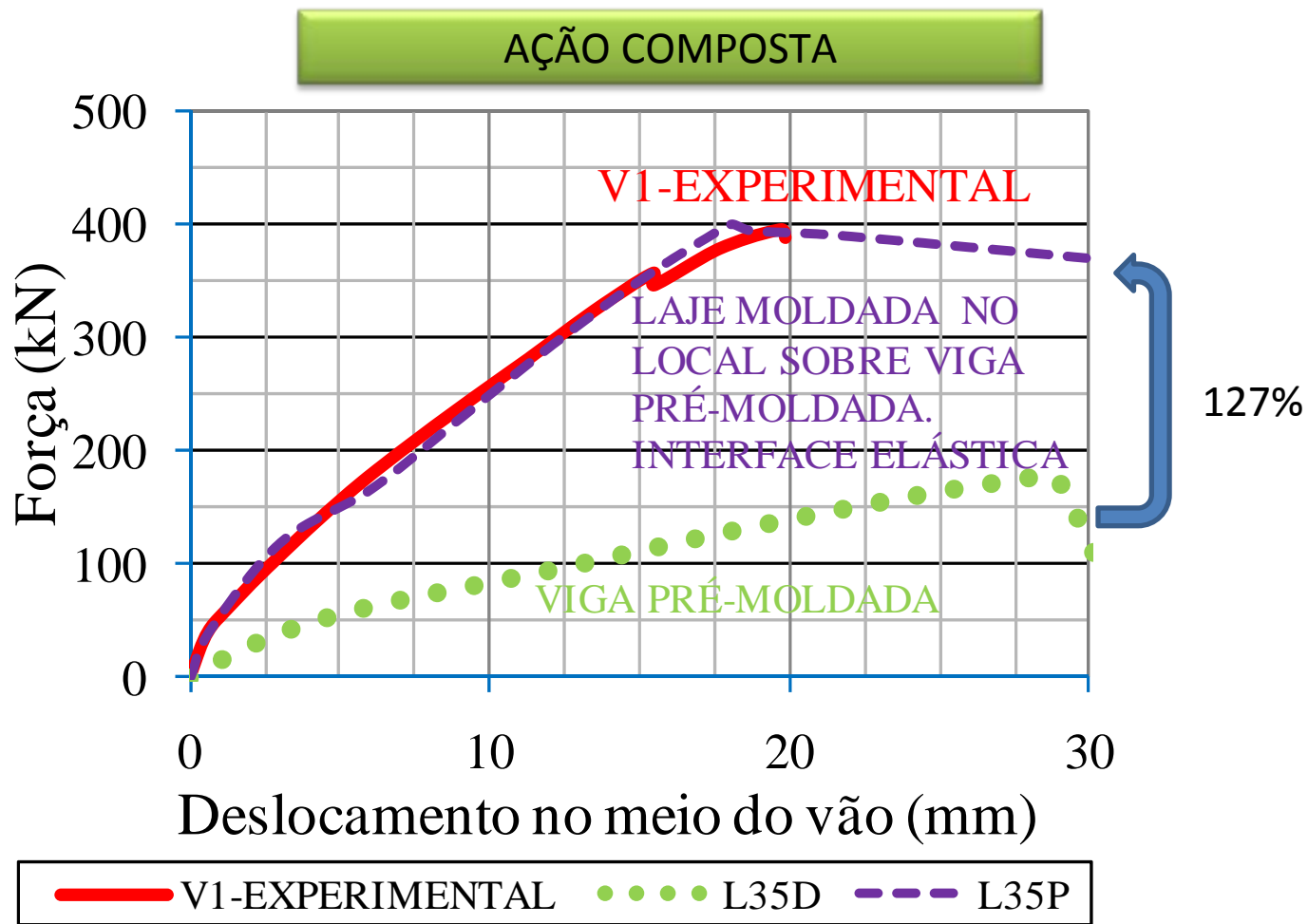
MODELO COM SUPERFÍCIE PLANA NO NICHU



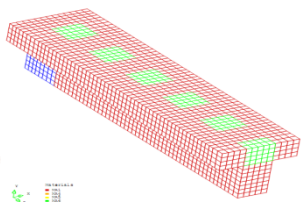
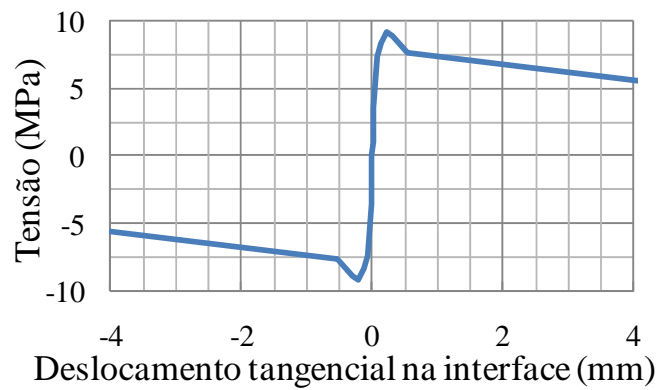
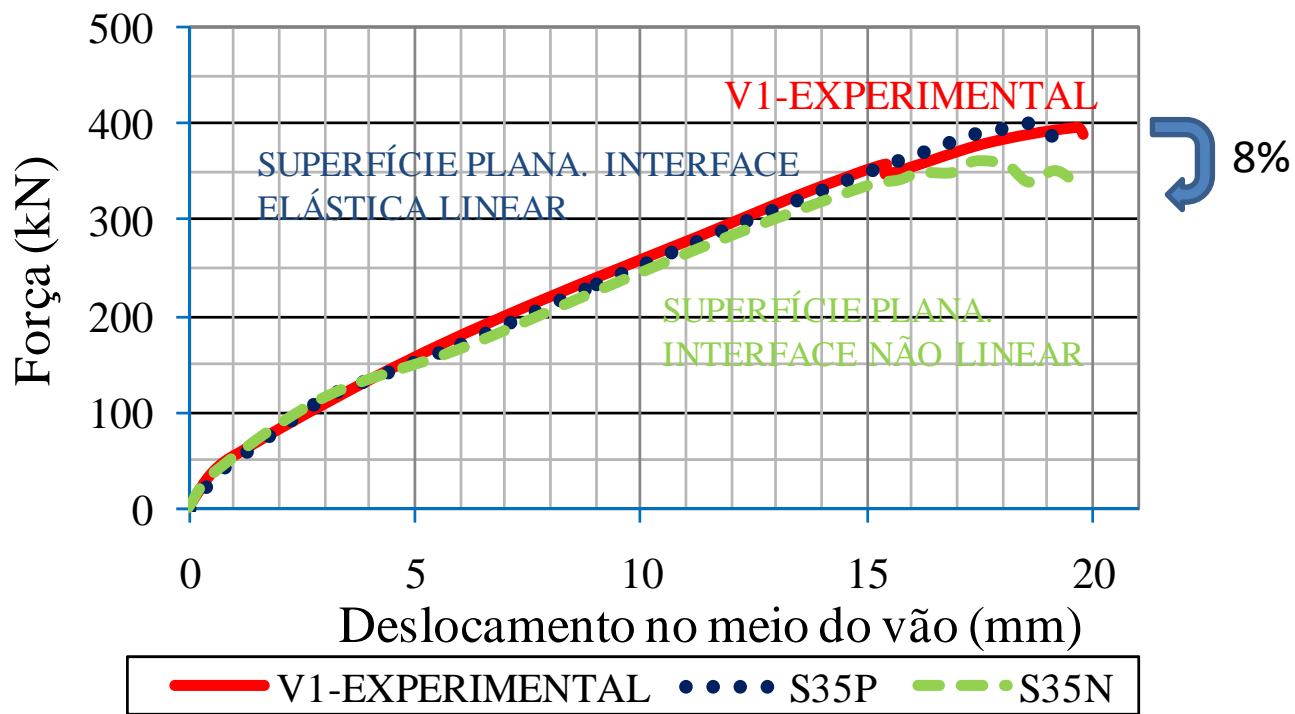
MODELOS ANALISADOS

Nome	Modelo	Tipo de Interface	Descrição
M	Viga monolítica	Não há interface	Representa a situação de viga e laje moldadas em etapa única
L35D	Viga pré-moldada	Sem restrição ao deslizamento na interface	Representa a situação onde apenas a viga pré-moldada resiste aos esforços, sem contribuição da laje
L35P	Viga composta com laje moldada no local	Contínua, com restrição ao deslizamento na interface	Representa a situação de viga composta e laje moldada no local. É admitido um modelo não linear na interface de ligação.
S35P	Viga composta com laje pré-moldada	Descontínua, com superfície plana	Laje e viga pré-moldadas ligadas mediante nichos, com superfície plana, admitindo ligação perfeita entre a viga e a laje no nicho (sem deslizamento relativo na ligação)
S35N	Viga composta com laje pré-moldada	Descontínua, com superfície plana	Laje e viga pré-moldadas ligadas mediante nichos, com superfície plana. O deslizamento relativo na ligação é definido pelo diagrama tensão cisalhante <i>versus</i> deslizamento informado ao elemento de interface.
S35N-10	Viga composta com laje pré-moldada	Descontínua, com superfície plana	Igual ao modelo SN-1, porém com ligação 10 vezes mais flexível
S35N-100	Viga composta com laje pré-moldada	Descontínua, com superfície plana	Igual ao modelo SN-1, porém com ligação 100 vezes mais flexível
KP	Viga composta com laje pré-moldada	Descontínua, com chave de cisalhamento	Laje e viga pré-moldadas ligadas mediante nichos, com chave de cisalhamento, admitindo ligação perfeita entre a viga e o concreto do nicho (sem deslizamento relativo na ligação)
KN	Viga composta com laje pré-moldada	Descontínua, com chave de cisalhamento	Laje e viga pré-moldadas ligadas mediante nichos, com chave de cisalhamento. É admitido um modelo não linear na interface de ligação do concreto do nicho com a viga.

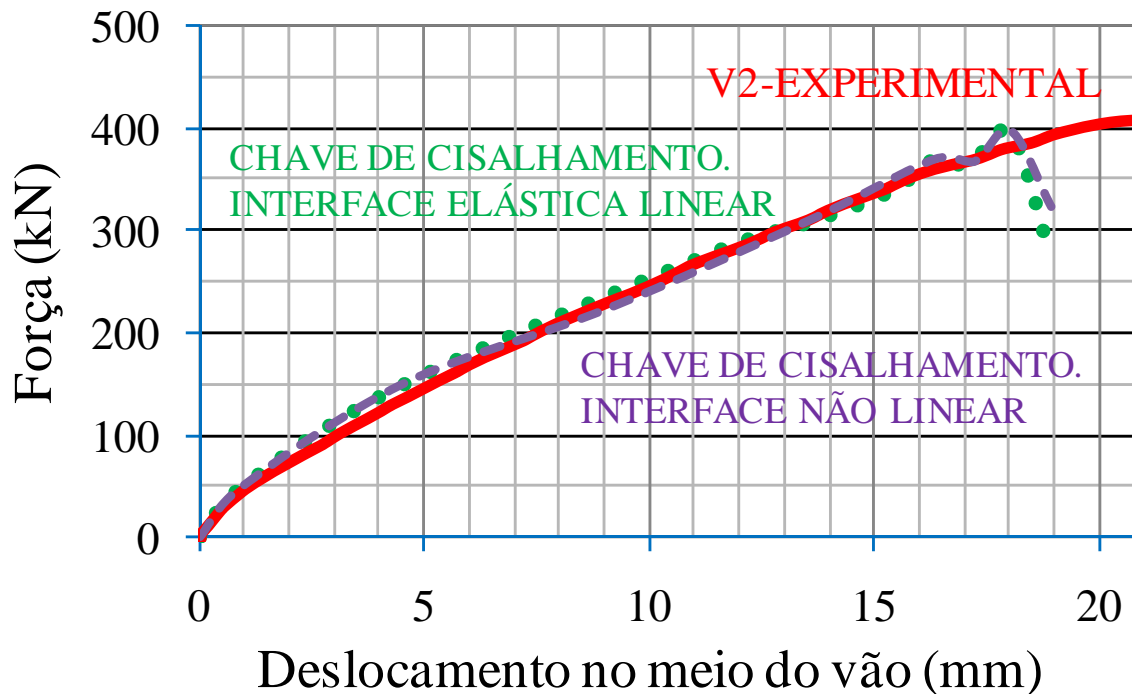




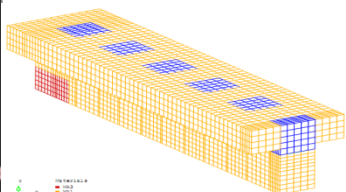
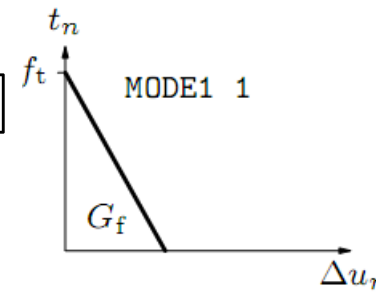
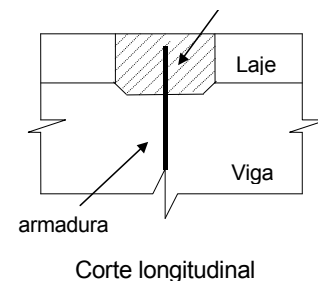
VIGA COMPOSTA COM NICHOS E SUPERFÍCIE PLANA



VIGA COMPOSTA COM NICO E CHAVE DE CISALHAMENTO

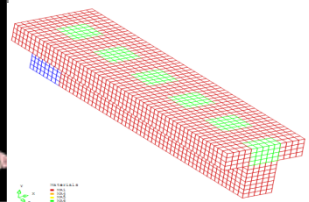
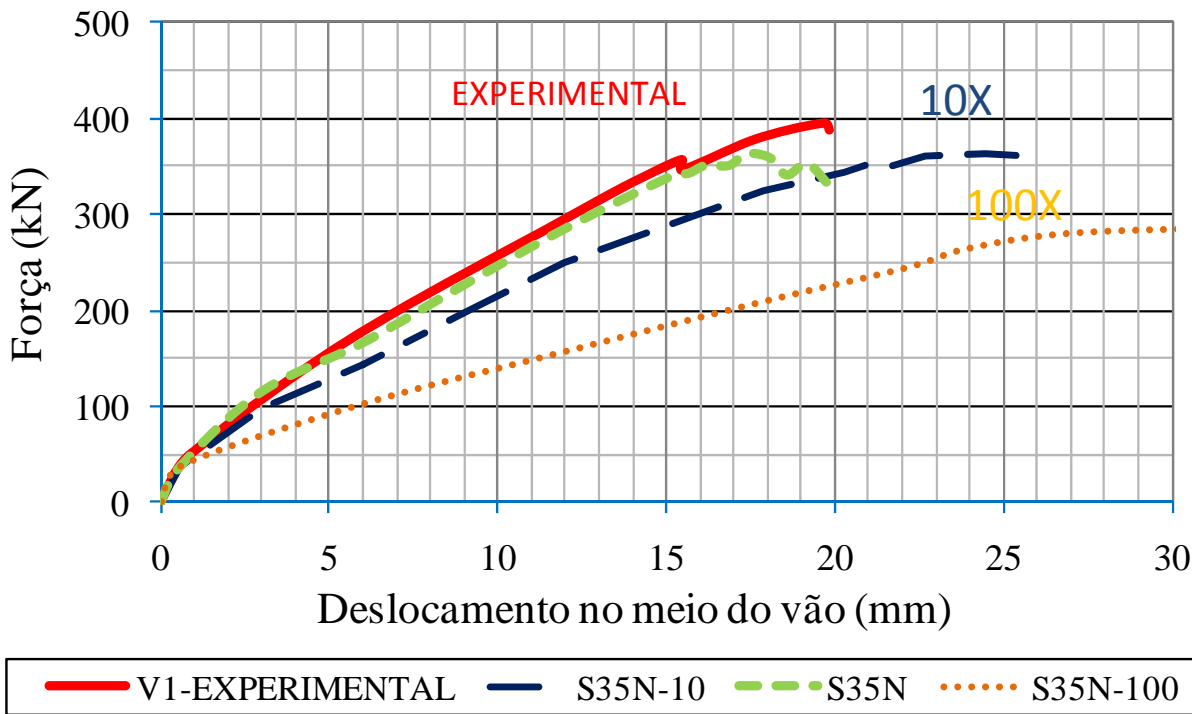
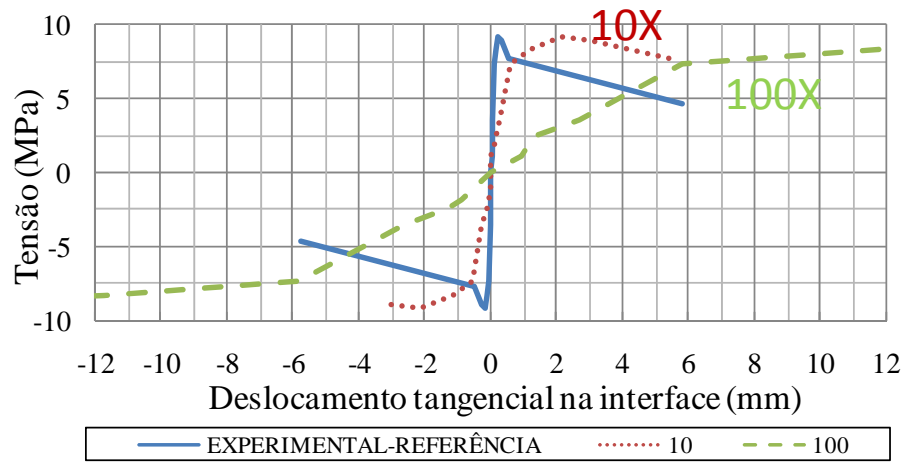


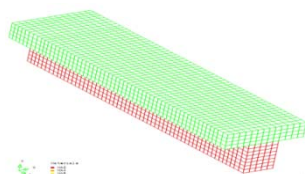
●●●● KP — V2-EXPERIMENTAL - - - KN



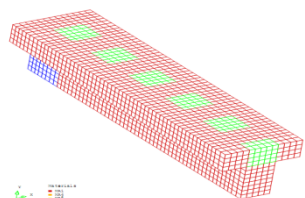
VIGA COMPOSTA COM NICO E SUPERFÍCIE PLANA

RIGIDEZ NA INTERFACE

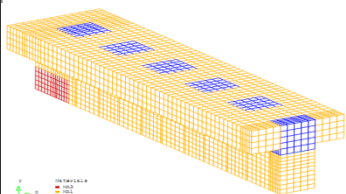




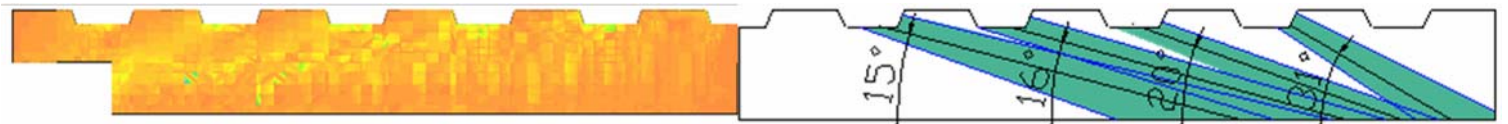
VIGA COMPOSTA COM LAJE MOLDADA NO LOCAL



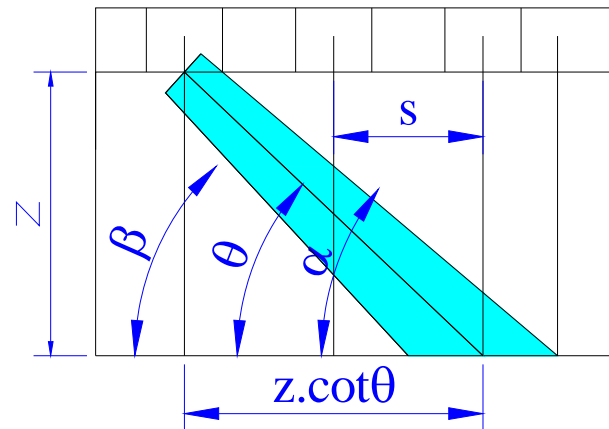
VIGA COMPOSTA COM NICHOS E SUPERFÍCIE PLANA



VIGA COMPOSTA COM NICHOS E CHAVE DE CISALHAMENTO



MODELO ANALÍTICO - JUDICE (2002)



$$\sigma_{c1} = \frac{V_d}{b_w \cdot z \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \leq 0,6 \cdot f_{ck} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (1)$$

$$\sigma_{c2} = \frac{V_d}{(z \cdot \cot \theta / s) \cdot \sin \theta \cdot A_b} \leq K_1 \quad (2)$$

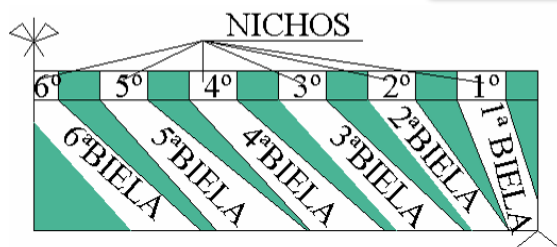
Sendo:

$$K_1 = 0,6 \cdot f_{ck} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot \frac{b_w \cdot s \cdot \sin \theta}{A_b} \leq f_{ck} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (3)$$

$$A_b = b_w \cdot \frac{a_n}{2} \cdot \left[\frac{1}{\cos \theta \cdot \cot \beta + \sin \theta} + \sin \theta - \cos \theta \cdot \sin(\theta - \alpha) \right] \quad (4)$$



Modelo	Biela	S (cm)	θ	Resultados da modelagem		Resultados analíticos		Limites analíticos	
				σ_{c1} (MPa)	σ_{c2} (MPa)	$\sigma_{c1-anal}$ (MPa)	$\sigma_{c2-anal}$ (MPa)	σ_{c1-lim} (MPa)	σ_{c2-lim} (MPa)
Contínua	Única	-	12°	11,1	25,9	66,7	66,7	25,0	25,0
Chave de cisalhamento	2°	112	31°	26,0	45,7	30,7	59,5	25,4	42,3
	3°	84	20°	23,6	45,9	42,2	83,0	25,4	42,3
	4°	56	16°	60,4	63,9	51,2	101,2	25,4	42,3
	5°	28	15°	26,8	79,3	54,2	107,4	25,4	42,3
Superfície plana	2°	112	36°	19,8	24,2	28,2	54,4	25,4	42,3
	3°	84	39°	19,2	34,2	27,9	53,8	25,4	42,3
	4°	56	38°	23,3	42,6	27,9	53,8	25,4	42,3
	5°	28	20°	7,3	65,4	42,2	83,0	25,4	42,3



- A força última da viga composta com interação total entre a viga e a laje foi 127% maior que a força última da viga sem transferência de tensões horizontais pela interface.
- A resistência de uma viga composta pode ser igual à resistência de uma viga monolítica equivalente, desde que se garanta a não ruptura da interface.
- A força última de uma viga com superfície plana na ligação é, praticamente, igual a de uma viga com chave de cisalhamento na ligação.
- Ligações mais flexíveis aumentaram o deslizamento relativo na interface entre a laje e a viga pré-moldadas. Isso promoveu uma maior flexibilidade do sistema composto sem perder a capacidade resistente da viga composta, desde que o deslizamento máximo na interface seja inferior a 1,2 mm.

- Vigas compostas com nicho e chave de cisalhamento na interface formam bielas comprimidas na viga pré-moldada com tensões até 112% maiores que as observadas em vigas com nicho e interface plana.
- O modelo analítico proposto por Judice (2002) superestimou a tensão nas bielas comprimidas do sistema de viga composta com nichos, o que sugere uma alteração na largura da biela comprimida no modelo de cálculo.

Agradecimentos



Obrigado!

