

## MODELAGEM NUMÉRICA DO ENSAIO TIPO “PUSH-OUT” UTILIZANDO CONECTORES DE CISALHAMENTO FLEXÍVEIS

Gustavo Alves Tristão<sup>\*</sup>, Jorge Munaiar Neto<sup>†</sup>, Maximiliano Malite<sup>†</sup>

Roberto Martins Gonçalves<sup>†</sup>

<sup>\*</sup> Engenheiro civil, aluno de doutorado do Departamento de Engenharia de Estruturas.  
Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.  
Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 – CEP 13.566-590 – São Carlos, SP – Brasil.  
Tel +55.16.273-9455 Fax: +55.16.273-9482 e-mail: [tristao@sc.usp.br](mailto:tristao@sc.usp.br)

<sup>†</sup> Engenheiro civil, professor do Departamento de Engenharia de Estruturas.  
Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.  
Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 – CEP 13.566-590 – São Carlos, SP – Brasil.  
Tel +55.16.273-9455 Fax: +55.16.273-9482  
e-mail: [jmunaiar@sc.usp.br](mailto:jmunaiar@sc.usp.br), [mamalite@sc.usp.br](mailto:mamalite@sc.usp.br), [gconcalve@sc.usp.br](mailto:gconcalve@sc.usp.br)

**Palavras-chave:** Conectores de cisalhamento, vigas mistas aço-concreto, estruturas mistas, análise não-linear física, análise não-linear geométrica, análise numérica.

**Resumo.** *As vigas mistas aço-concreto, dentro do contexto mundial, têm sido largamente utilizadas em sistemas construtivos na engenharia civil. O comportamento adequado desse elemento estrutural possui dependência direta com a interação entre ambos os materiais, interação essa garantida por elementos metálicos denominados conectores de cisalhamento. O presente trabalho aborda o estudo do comportamento estrutural de conectores de cisalhamento flexíveis bastante utilizados em vigas mistas aço-concreto. Por meio de modelos numéricos tridimensionais, faz-se a simulação do ensaio experimental tipo “Push-out”, cujos resultados são confrontados com valores experimentais obtidos de ensaios realizados em laboratório, extraídos de referências bibliográficas.*

*A elaboração dos modelos numéricos é feita com base no procedimento proposto pelo EUROCODE 4 (1994), enquanto que a simulação numérica é viabilizada por meio da utilização do código de cálculo ANSYS 5.7, elaborado com base no método dos elementos finitos e cujas ferramentas disponibilizadas permitem análises da resposta dos modelos em regime de não-linearidades física e geométrica.*

*Nos modelos são consideradas variações nas dimensões e propriedades físicas de ambos os materiais, com vistas à determinação da resistência e da relação entre força e deslocamento dos conectores de cisalhamento, bem como avaliar a concentração de tensão nas partes constituintes dos modelos.*

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas estruturais compostos, como as lajes mistas aço-concreto (lajes de concreto com forma de aço incorporada), os pilares mistos aço-concreto (pilares de aço revestidos ou protegidos por concreto e preenchidos com concreto) e as vigas mistas aço-concreto (lajes de concreto sobre vigas de aço), têm sido bastante utilizados nas obras de engenharia civil.

No caso de vigas mistas, para um comportamento adequado desse elemento estrutural faz-se necessário garantir a interação entre ambos os materiais por meio de conectores de cisalhamento, cujas funções consistem em transferir fluxo de cisalhamento na interface da viga mista, bem como impedir a separação vertical entre laje de concreto e perfil de aço, movimento conhecido como “uplift”.

Dentre os conectores flexíveis utilizados, citam-se os tipos pino com cabeça (stud) e o perfil “U”, sendo que o primeiro caracteriza-se por ter um rápido método de execução e equivalência de resistência em todas as direções normais ao eixo do conector. Pesquisas recentes vêm sendo desenvolvidas, objetivando a formulação de expressões que permitam determinar a resistência ao cisalhamento dos conectores, em especial o tipo pino com cabeça (stud) e o tipo perfil “U”, para lajes de concreto convencional e de alta resistência.

Essas expressões são de natureza empírica e têm origem em ensaios do tipo “Push-out”, cuja análise dos resultados é feita dentro de um contexto global do sistema misto, impossibilitando, na maioria das vezes, uma avaliação adequada de aspectos particulares de interesse, como por exemplo, a concentração de tensões na região do conector, fator de grande influência na determinação da força de ruptura.

Dentre os objetivos do presente trabalho, e utilizando-se o código de cálculo *ANSYS 5.7* elaborado com base no Método dos Elementos Finitos (MEF) para uso em micro-computadores, destaca-se a proposta de um modelo numérico que permita simular satisfatoriamente o ensaio tipo “Push-out”, para conectores pino com cabeça (stud) e perfil “U” formado a frio, recomendado pelo EUROCODE 4 (1994) [1] e pela norma britânica BS 5400 (1979) [2]. Como resultado principal faz-se uma análise da relação entre força e deslocamento do conector, bem como uma avaliação dos níveis das tensões em regiões de interesse do modelo, nos estados limites de utilização e último.

## 2 ASPECTOS DA MODELAGEM NUMÉRICA

A complexidade da análise multiaxial, nos campos das tensões e das deformações, pode dificultar na maioria das vezes a elaboração de formulações analíticas referentes ao ensaio “Push-out”, provável razão pela qual quase sempre têm sido propostas expressões empíricas que representam o comportamento dos conectores de cisalhamento. Com a evolução dos micro-computadores e dos códigos de cálculo, a análise multiaxial para as estruturas de um modo geral deixa de ser um problema.

Desta forma, é proposto no presente trabalho um modelo numérico tridimensional que simule satisfatoriamente o ensaio experimental tipo “Push-out” para conectores pino com cabeça (stud) e perfil “U” formado a frio, cuja simulação numérica é realizada por meio da

utilização do *ANSYS 5.7*. Pelas simetrias verificadas com referência à geometria e à solitação do modelo para o ensaio experimental “Push-out”, considerou-se apenas metade do modelo experimental, para a elaboração do modelo numérico.

## 2.1 Elementos finitos adotados

Os modelos numéricos propostos foram elaborados a partir de quatro tipos de elementos finitos disponibilizados na biblioteca interna do código de cálculo *ANSYS 5.7*, e estão apresentados a seguir. É importante observar que todos os elementos adotados têm apenas três graus de liberdade por nó, referentes às translações em  $x$ ,  $y$  e  $z$  (coordenadas locais), uma vez que não há o interesse na quantificação da rotação dos elementos.

Para a discretização da laje de concreto foi utilizado o elemento concreto armado tridimensional SOLID 65, constituído por oito nós (figura 1a). O SOLID 65 permite simular fissuração na tração (nas três direções ortogonais) e esmagamento na compressão, bem como um comportamento com não-linearidade física, o que permite avaliar deformações plásticas. Possibilita ainda a inclusão das barras de armadura na forma de taxas, denominada armadura dispersa, as quais são resistentes apenas à tração e à compressão. No entanto, caso seja de interesse, este elemento permite ainda a introdução das barras de armadura na forma discreta, procedimento esse adotado para os modelos numéricos do presente trabalho.

Para simular o comportamento do perfil metálico e dos conectores de cisalhamento, utiliza-se o elemento sólido estrutural tridimensional SOLID 45 (figura 1b). Assim como o SOLID 65, o SOLID 45 também possui oito nós, e permite considerar a plasticidade e a ortotropia do material.

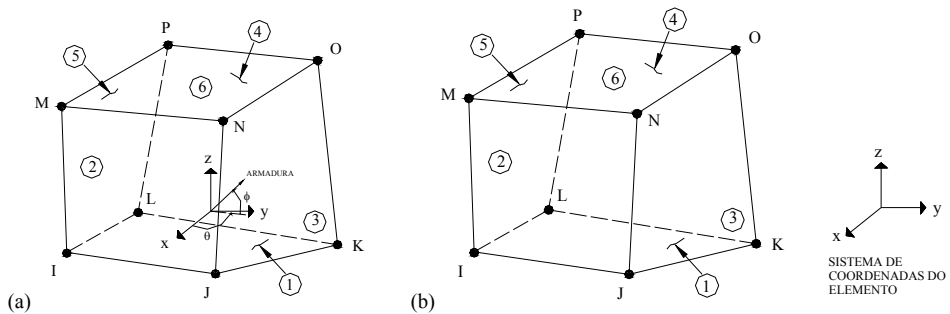


Figura 1 – (a) Elemento finito tipo SOLID 65 e (b) Elemento finito tipo SOLID 45

As barras de armaduras dispostas na laje de concreto são discretizadas com o elemento barra tridimensional LINK 8, constituído por nós de extremidades inicial (I) e final (J). Como ilustrado na figura 2, o eixo  $x$  do elemento é orientado segundo o seu comprimento. Vale ressaltar que nenhuma flexão no elemento pode ser considerada, porém, é disponibilizada ao usuário a possibilidade de se admitir a ocorrência de deformação plástica.

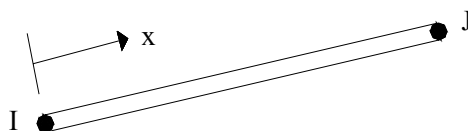


Figura 2 - Elemento finito tipo LINK 8

Nas interfaces entre conectores de cisalhamento e laje de concreto foram considerados elementos de contato, objetivando simular a ocorrência de possíveis deslocamentos relativos entre conector e concreto da laje.

Foi utilizado o elemento de contato definido pelo *ANSYS 5.7* como superfície-superfície, que surge do trabalho em conjunto dos elementos TARGE 170 (como superfície alvo) e CONTAC 173 (como superfície de contato). No caso particular do modelo numérico proposto, as faces dos elementos de concreto na interface laje-conector foram consideradas como superfície alvo, enquanto que as faces dos elementos dos conectores foram consideradas como superfície de contato.

Para se estabelecer uma rigidez entre ambas as superfícies, alvo e contato, é necessário informar ao *ANSYS* o valor de um fator de rigidez normal de contato, identificado por meio do parâmetro FKN. Este parâmetro controla a intensidade de penetração e afastamento entre ambas as superfícies, razão pela qual tem grande influência na convergência durante o processamento do modelo. Além disso, pode-se por meio do elemento de contato quantificar a pressão que o conector exerce no concreto.

## 2.2 Condições de contorno e de solicitação

Como o modelo numérico leva em conta apenas a metade do modelo experimental “Push-out”, restringiu-se o deslocamento segundo a direção X (coordenada global) da alma do perfil metálico em toda sua extensão (na vertical). Além disso, a face inferior da laje de concreto é restringida nas três direções, no plano XY e também na direção normal a este plano (coordenadas globais), objetivando garantir a estabilidade do modelo, quando da aplicação das forças no perfil metálico.

Os conectores de cisalhamento estão solidarizados à mesa do perfil metálico, objetivando garantir que os nós comuns aos elementos dos conectores e da mesa da viga de aço tenham compatibilidade de deslocamentos em todas as direções. Vale mencionar ainda que os nós pertencentes à laje de concreto e à mesa do perfil metálico foram acoplados apenas na direção X, objetivando minimizar a rotação da laje em do eixo Z.

A solicitação é aplicada na face superior do perfil metálico, na forma de pressão, cuja intensidade é definida por meio da divisão da força de ruptura estimada pela área da seção transversal do perfil metálico.

### 2.3 Modelos de não-linearidade física adotados para o aço e o concreto

O código de cálculo *ANSYS 5.7* possibilita a consideração da não-linearidade física dos materiais, com base em alguns critérios de resistência. Nos modelos numéricos em questão, para o aço do conector e do perfil metálico, adota-se o comportamento elasto-plástico multilinear com encruamento isotrópico. Já para o aço da armadura, considera-se o comportamento elasto-plástico perfeito. Esses dois comportamentos são associados ao critério de Von Mises, e as relações tensão-deformação são ilustradas na figuras 3a e 3b, respectivamente.

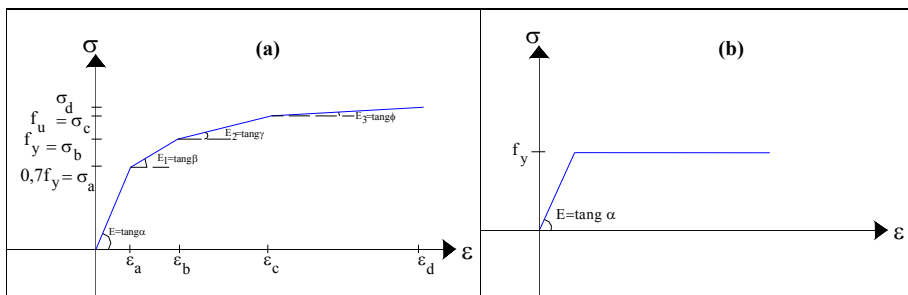


Figura 3 – (a) Comportamento elasto-plástico multilinear com encruamento isotrópico  
(b) Comportamento elasto-plástico perfeito

Para o concreto, adotam-se o *modelo concreto* e o modelo elástico não-linear. O *modelo concreto* é baseado no critério de ruptura para o estado multiaxial de tensão, proposto por “Willam-Warnke”, e capaz de simular o esmagamento na compressão e a fissuração na tração. Já o modelo elástico não-linear permite a consideração de uma relação não-linear entre tensão e deformação, para o qual adotou-se o comportamento para o concreto, descrito pela relação tensão-deformação foi extraída do CEB-FIB (1991) [3].

No modelo com conector tipo pino com cabeça (stud) foi adotado o *modelo concreto* praticamente em toda laje, exceto nos elementos finitos sujeitos às vinculações de base da laje, em que se utiliza o modelo elástico não-linear.

Por outro lado, para os modelos com conector tipo perfil “U” formado a frio utiliza-se o *modelo concreto* nas regiões da laje próximas aos conectores, pois são essas regiões submetidas a tensões de compressão e de tração consideradas elevadas quando comparadas às correspondentes resistências. Em contrapartida, nas regiões da laje onde as tensões não são elevadas adota-se o modelo elástico não-linear, desde que as tensões de tração, quando verificadas, resultem próximas da resistência à tração do concreto ( $f_t$ ). Essa verificação deve-se ao fato de o modelo elástico não-linear adotar para esforços de tração o mesmo comportamento ( $\sigma \times \epsilon$ ) adotado para esforços de compressão e, portanto, inconsistente com o comportamento real do concreto verificado experimentalmente.

### 3 RESULTADOS DA ANÁLISE NUMÉRICA

Apresentam-se a seguir resultados da análise numérica de modelos com conectores dos tipos pino com cabeça (stud) e perfil "U" formado a frio, ambos em laje de concreto maciça.

Vale ressaltar que a força total estimada foi aplicada em pequenos incrementos, que variam dentro de um intervalo entre 100 e 250, adotando como critérios de convergência a variação dos deslocamentos com tolerância para convergência de 0,001, bem como uma tolerância de 1 mm para penetração entre as superfícies alvo e de contato.

#### 3.1 Modelo numérico com conector pino com cabeça de 13 mm de diâmetro

A simulação numérica referente ao conector tipo pino com cabeça (stud) foi feita por meio de um modelo denominado de PHS-1, cujas dimensões e propriedades dos materiais respeitaram aquelas adotadas nos ensaios experimentais tipo "Push-out", realizados por KALFAS (1997) [4]. O modelo consiste basicamente de dois pinos com cabeça (stud), em cada laje, com 13 mm de diâmetro e 75mm de comprimento, espaçados entre si 250 mm. A discretização do modelo PHS-1 é apresentada na figura 4.

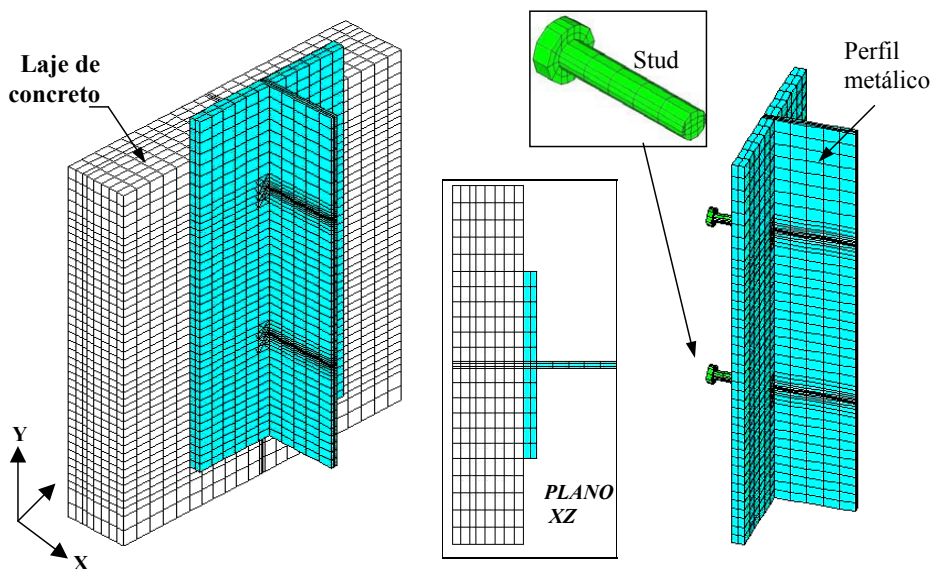


Figura 4 – Malha de elementos finitos adotada para o modelo PHS-1

As tabelas 1 e 2 apresentam as propriedades dos materiais para as fases de comportamentos linear e não-linear, em correspondência às figuras 3a e 3b. Já a tabela 3 apresenta as propriedades para o concreto, onde são especificadas as correspondentes resistências à compressão do concreto ( $f_{ck}$ ) e à tração ( $f_t$ ).

Tabela 1 – Propriedades do aço do conector e do perfil metálico

<i>MATERIAL</i>	$\sigma_a$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_b$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_d$ (kN/cm <sup>2</sup> )	E (kN/cm <sup>2</sup> )	E <sub>a</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )	E <sub>b</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )	E <sub>c</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )
AÇO DO CONECTOR	28,0	40,0	49,6	49,6	20000	200	20	0
AÇO DO PERFIL	17,5	25,0	40,0	40,0	20500	205	20,5	0

Tabela 2 – Propriedades do aço da armadura

<i>MATERIAL</i>	$f_v$ (kN/cm <sup>2</sup> )	E (kN/cm <sup>2</sup> )
AÇO DA ARMADURA	50,0	21000

Tabela 3 – Propriedades do concreto

<i>MATERIAL</i>	E (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{ck}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_t$ (kN/cm <sup>2</sup> )
CONCRETO	2782	1,71	0,2

A figura 5 ilustra como resultado a relação entre força e deslocamento do conector, referente ao modelo numérico PHS-1, confrontado com três resultados mais representativos, dentre os nove ensaios experimentais realizados por KALFAS et al. (1997) [4]. A força total aplicado no modelo foi dividida igualmente entre os dois conectores. O valor adotado para a rigidez normal de contato (FKN) foi 500.

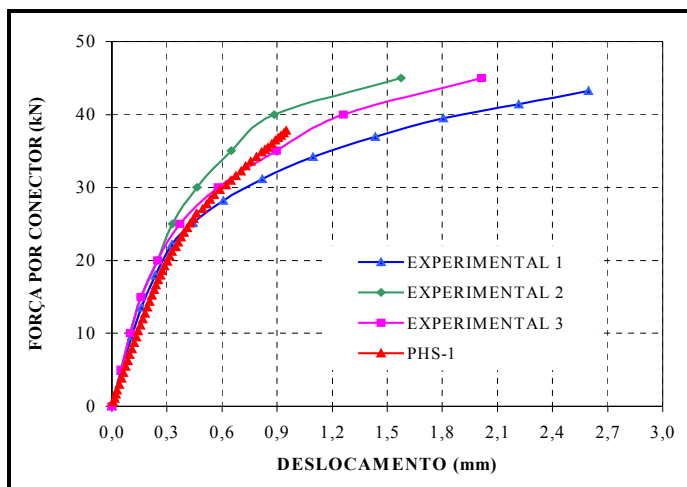
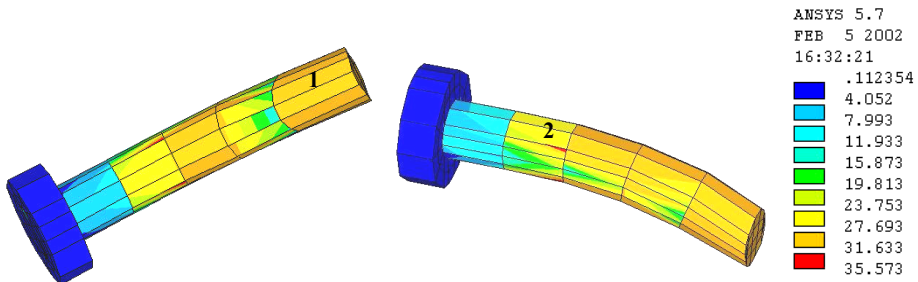


Figura 5 – Relação força x deslocamento por conector, para o modelo numérico PHS-1

Por uma análise com referência à figura 5, é possível identificar uma concordância

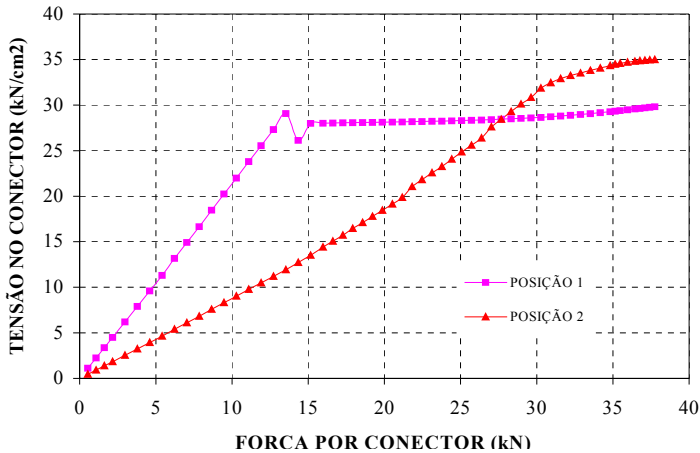
bastante satisfatória do resultado do modelo PHS-1 quando comparado com os resultados experimentais, até o valor de força igual a 37,75 kN, a partir do qual não mais apresentou convergência, em correspondência a uma tolerância de 0,001 com referência à diferença entre deslocamentos sucessivos.

A figura 6 ilustra as tensões, de Mises, em apenas um conector, uma vez que ambos os conectores apresentam o mesmo comportamento. As posições indicadas no conector da figura 6, pelos números 1 e 2, representam regiões para as quais serão plotadas, na figura 7, relações entre tensão de Mises e força no conector.



**Figura 6** – Distribuição de tensões de Mises (kN/cm<sup>2</sup>) no pino com cabeça (stud), modelo PHS-1, em correspondência a uma força por conector de 37,75 kN

Analisando a figura 7, nota-se que quando os elementos situados na posição 1 atingem o valor da tensão de proporcionalidade ( $f_p = \sigma_a$ ) igual a 28 kN/cm<sup>2</sup>, permitem uma redistribuição de tensões, por exemplo, para elementos na posição 2. Vale destacar que em nenhuma região do conector foi atingido o valor da tensão de escoamento ( $f_y$ ).



**Figura 7** – Relação tensão x força no conector, para o modelo numérico PHS-1



### 3.2 Modelos numéricos com conector tipo Perfil “U” formado a frio

Para os modelos numéricos com conectores tipo perfil “U” formado a frio, adotou-se como referência os modelos experimentais ensaiados por MALITE (1993) [5]. Foram modelados conectores perfil “U” com espessuras de 2,66 mm (tipo A) e 4,76 mm (tipo B), nas posições I e II, apresentadas na figura 8, resultando em um total de quatro modelos numéricos, aqui denominados de PHU-AI, PHU-AII, PHU-BI e PHU-BII.

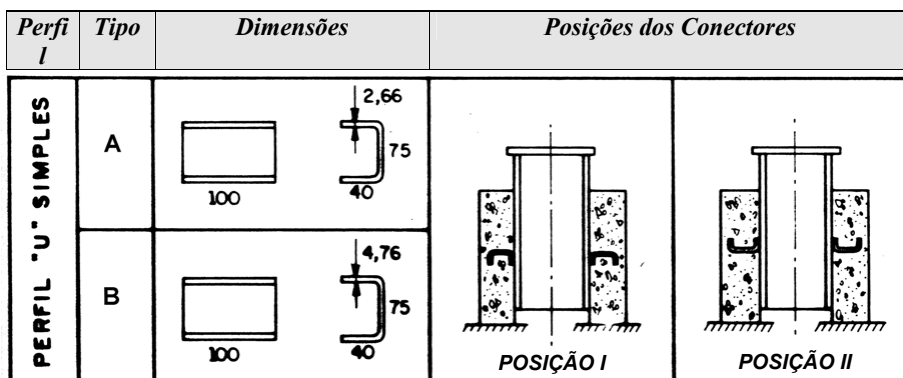


Figura 8 – Esboço dos modelos com perfil de 2,66 e 4,76 mm nas posições I e II

Nesse caso, como é possível notar, as letras A e B referem-se às espessuras adotadas, enquanto que os números I e II referem-se às posições dos conectores. As propriedades adotadas para os materiais estão apresentadas nas tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Propriedades do aço do conector e do perfil metálico (referente à figura 3a)

MATERIAL	$\sigma_a$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_b$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_d$ (kN/cm <sup>2</sup> )	E (kN/cm <sup>2</sup> )	$E_a$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$E_b$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$E_c$ (kN/cm <sup>2</sup> )
AÇO DO CONECTOR	17,35	24,78	35,37	35,37	19900	199	19,9	0
AÇO DO PERFIL	17,40	37,73	54,26	54,26	19900	199	19,9	0

Tabela 5 – Propriedades do aço da armadura (referente à figura 3b)

MATERIAL	$f_v$ (kN/cm <sup>2</sup> )	E (kN/cm <sup>2</sup> )
AÇO DA ARMADURA	50,0	21000

Tabela 6 – Propriedades do concreto

MATERIAL	E (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{ck}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_t$ (kN/cm <sup>2</sup> )
CONCRETO	3215	2,67	0,28

Na figura 9 apresenta-se a discretização adotada para os modelos com conector perfil “U” formado a frio, tomando nesse caso como base o modelo PHU-BI.

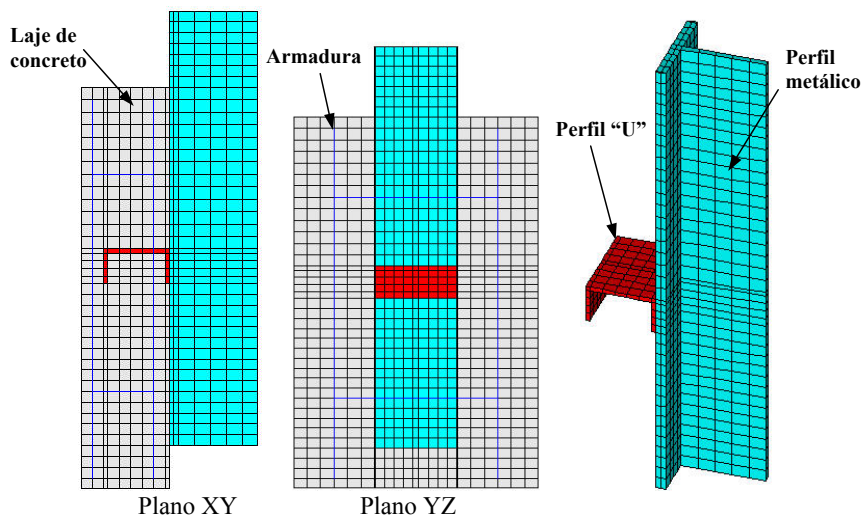


Figura 9 – Visão geral da discretização adotada para os modelos com conector perfil “U” formado a frio

Nas figuras 10, 11, 12 e 13, para os modelos numéricos AI, AII, BI e BII, apresentam-se relações entre força por conector e deslocamento obtido no modelo numérico, confrontadas com os resultados dos ensaios experimentais realizados por Malite (1993) [5]. Para todos os modelos numéricos, o valor de FKN adotado foi 500.

Todas as relações entre força por conector e deslocamento dos modelos numéricos apresentam basicamente um mesmo comportamento, ou seja, a fase inicial apresenta um comportamento linear governado pelo fator FKN, e a partir de uma determinada força, a relação começa a apresentar um comportamento fortemente não-linear, devido a não-linearidade física dos materiais, principalmente do aço do conector e do concreto da laje.

A distribuição de tensões (de Mises), no conector, com referência à força última é ilustrada na figura 14, para os modelos PHU-AI e PHU-AII, bem como para os modelos PHU-BI e PHU-BII. O comportamento do conector em cada modelo é apresentado nas figuras 15 e 16 por meio da relação entre tensão e força no conector, em correspondência com os modelos numéricos em questão. As posições 1, 2, 3, 4, e 6, apresentadas nas legendas das figuras 15 e 16, são as respectivas regiões indicadas nos conectores ilustrados na figura 14.

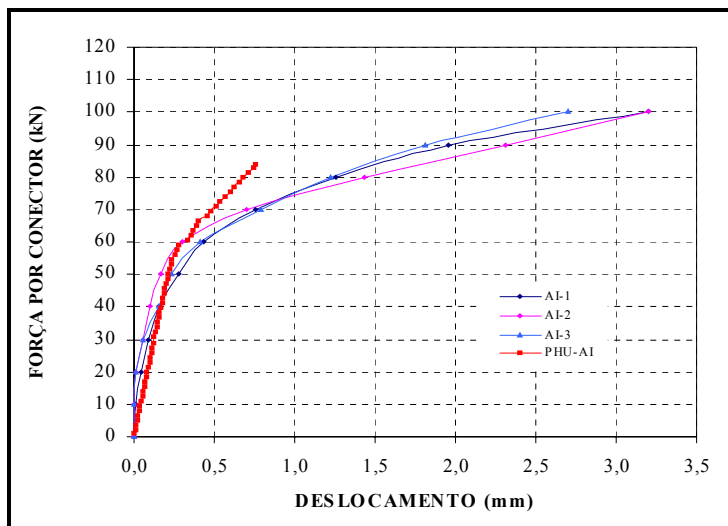


Figura 10 – Relação força por conector x deslocamento, referente ao modelo PHU-AI

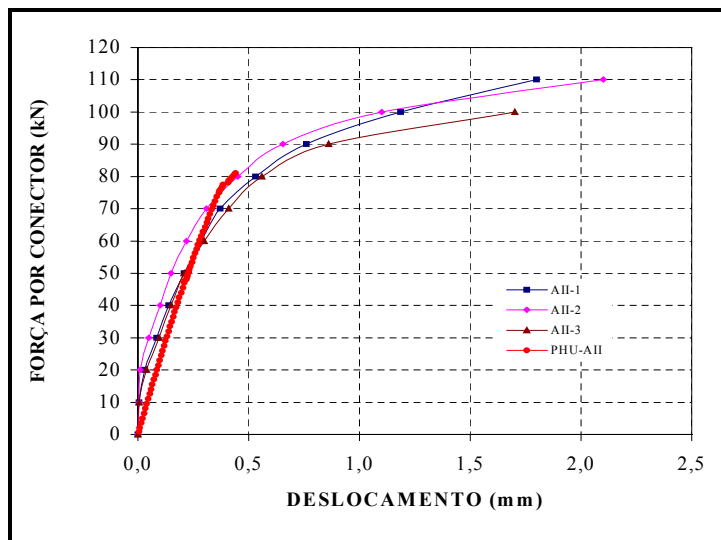


Figura 11 – Relação força por conector x deslocamento, referente ao modelo PHU-AII

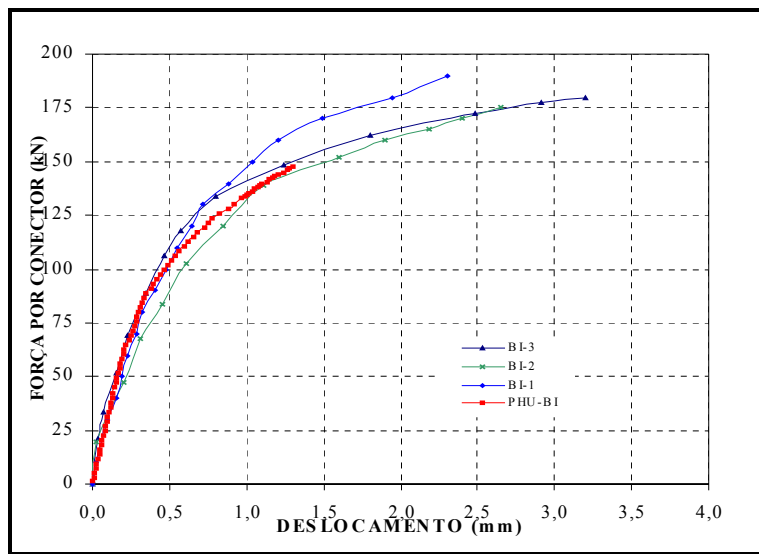


Figura 12 – Relação força por conector x deslocamento, referente ao modelo PHU-BI

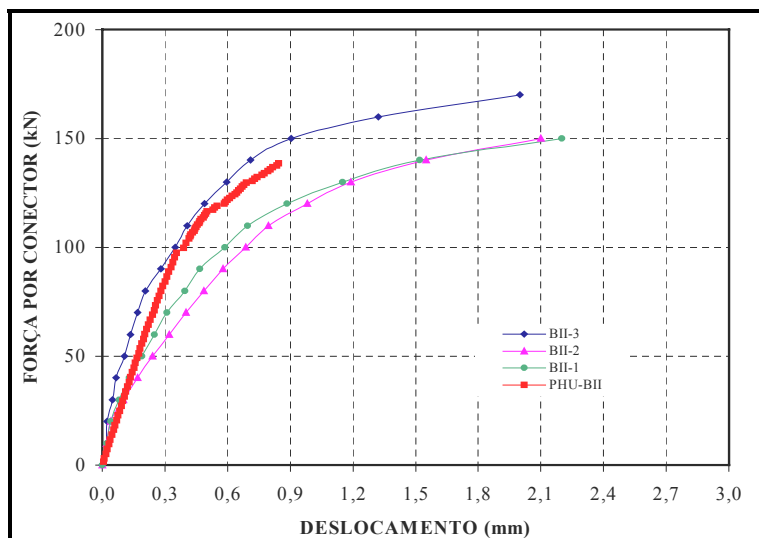


Figura 13 – Relação força por conector x deslocamento, referente ao modelo PHU-BII

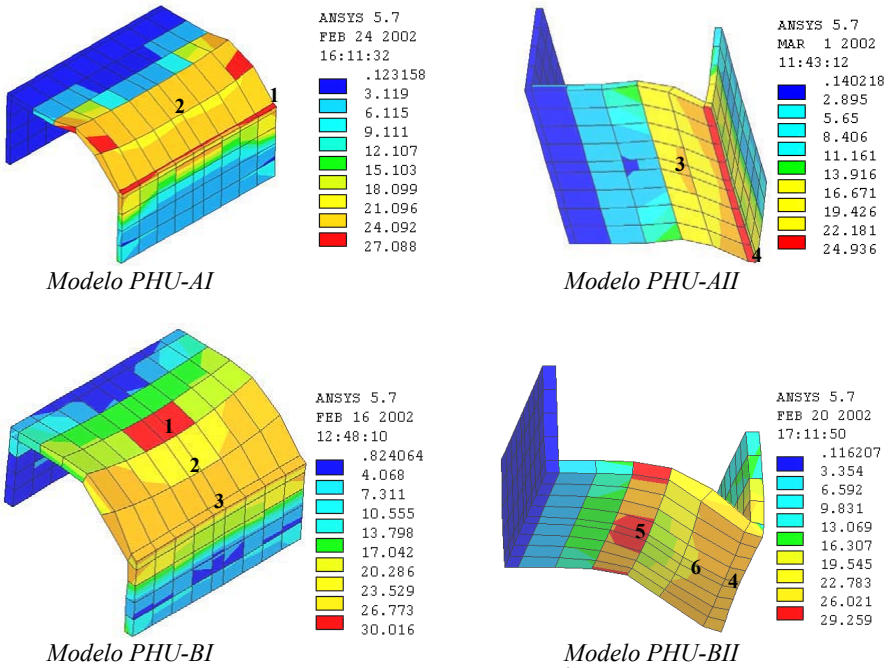


Figura 14 – Distribuição de tensões de Mises (kN/cm<sup>2</sup>) no conector perfil “U”

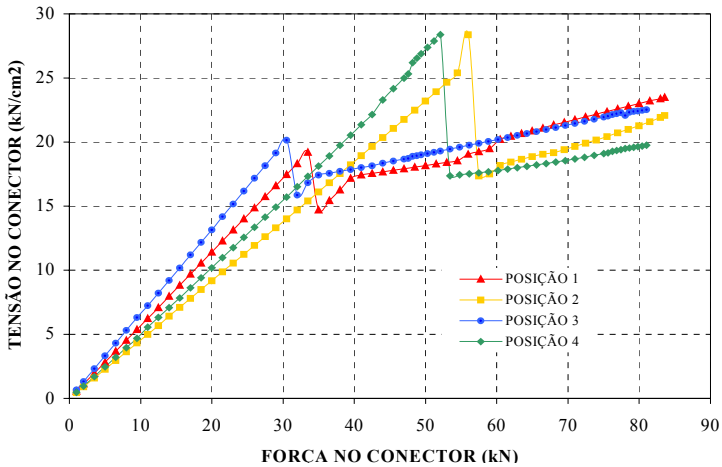


Figura 15 – Relação tensão x força no conector, para os modelos PHU-AI e PHU-AII

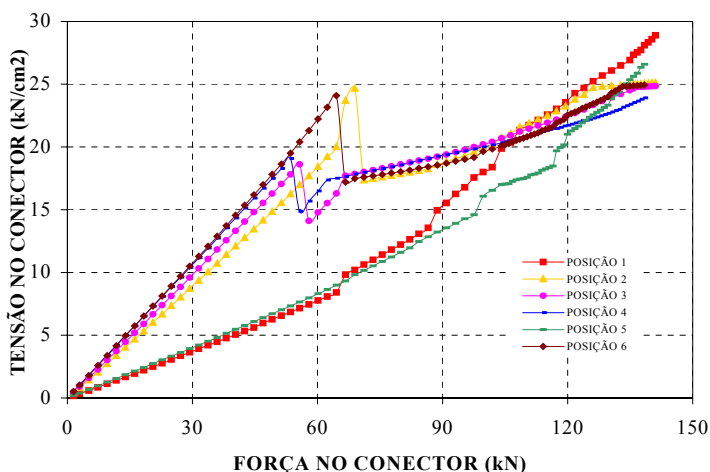


Figura 16 – Relação tensão x força no conector, para os modelos PHU-BI e PHU-BII

#### 4 CONCLUSÕES

A proposta do presente trabalho objetivou avaliar o comportamento dos conectores de cisalhamento dos tipos pino com cabeça e perfil “U” formado a frio, por meio de análise numérica tridimensional do ensaio tipo “Push-out”. Para tanto foram analisados conectores stud de 13 mm, bem como perfis “U” formados a frio, de 2,66 e 4,76 mm de espessura, em duas posições diferentes.

Os resultados dos modelos numéricos, analisados com referência à relação entre força e deslocamento por conector, resultaram satisfatórios quando confrontados com resultados experimentais. Adicionalmente, foram analisados outros aspectos de interesse nos modelos numéricos, como por exemplo, a concentração de tensão nos conectores, de difícil obtenção em ensaios experimentais.

Análises com relação aos conectores tipo perfil “U” formado a frio, identificaram a não ocorrência de grandes diferenças com relação à força última do conector de mesma espessura, ou seja, a diferença entre os modelos PHU-AI e PHU-AII foi de aproximadamente 3,5%, enquanto que a diferença entre os modelos PHU-BI e PHU-BII foi 5%. Porém, identificou-se uma grande influência da posição com relação à ductilidade do conector, ou seja, conectores na posição I têm comportamento mais dúctil quando comparados àqueles na posição II, fato de grande importância quando o colapso de uma viga mista dá-se devido à ruptura da ligação.

As armaduras na laje de concreto em todos os modelos numéricos apresentaram tensões muito inferiores à tensão de escoamento do aço, aspecto que confirma como função principal desse elemento o confinamento do concreto, aumentando assim a sua resistência.

As tensões na laje de concreto apresentaram-se bastante elevadas na região do conector. Além disso, foi constatado que as fissuras, nos primeiros incrementos de força, iniciaram-se

na região circundante ao conector e, com aumento da força, se espalham por toda a laje de concreto. Vale ressaltar que ambos os aspectos verificados confirmam comentários apresentados em outros trabalhos realizados por outros pesquisadores

Por uma análise criteriosa dos elementos de contato, acredita-se que a perturbação identificada na relação tensão x força, para algumas posições no conector, deve-se ao fato de nessas regiões a pressão e a penetração de contato serem elevadas, quando comparadas a outras regiões do conector.

Finalmente, vale destacar que a simulação numérica do ensaio “Push-out” possibilita analisar o comportamento dos conectores de cisalhamento, não somente sobre o aspecto global, ou seja, relação força x deslocamento, mas também aspectos localizados como tensões e deformações nos componentes do modelo. A análise numérica do ensaio “Push-out” pode representar uma economia de tempo e dinheiro, quando comparada à análise experimental.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *ENV 1994-1-1: Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures*. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels (1994).
- [2] BRITISH STANDARD INSTITUTION. *BS 5400 – Steel, concrete and composite bridges*. Part 5: Code of practice for design of composite bridges. London (1979).
- [3] COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. CEB-FIP model code 1990. *Bulletin d'Information*, n.203-205 (1991).
- [4] C. Kalfas *et al.* Inelastic behaviour of shear connection by a method based on FEM. *Journal of Construction Steel Research*, v.44, p.107-114 (1997).
- [5] M. Malite (1993). *Análise do comportamento estrutural de vigas mistas aço-concreto constituídas por perfis de chapa dobrada*. São Carlos. 253p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (1993).
- [6] G.A. Tristão (2002). *Comportamento de conectores de cisalhamento em vigas mistas aço-concreto com análise da resposta numérica*. São Carlos. 114p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (2002).
- [7] G.A. Tristão; J. Munaiar Neto; M. Malite. *Comportamento estrutural dos conectores de cisalhamento em vigas mistas aço-concreto com análise da resposta numérica*. In: I CICOM – Congresso Internacional da Construção Metálica, São Paulo, SP, Brasil, 06 a 09/11/2001. Estruturas Metálicas. SAE e AMICEM, 2001.