

3.01.02- Engenharia Civil /Estruturas

### LIGAÇÕES TIPO KT EM TRELIÇAS PLANAS COM PERFIS TUBULARES DE AÇO

Euler de Oliveira Guerra<sup>2</sup>, Gabriel Diniz Carvalho Junqueira Cunha<sup>1</sup>; Guilherme Ribeiro Caetano<sup>3</sup>; Helton Gonçalves Silva Júnior<sup>1</sup>; Matheus Everton Teixeira Maia<sup>1</sup>

1. Estudante do curso de graduação em Engenharia Civil da PUC Minas
2. Professor Orientador curso de Engenharia Civil PUC Minas, Belo Horizonte, MG
3. Engenheiro Civil formado na PUC Minas

#### Resumo

Ligações soldadas tipo KT entre perfis tubulares circulares, quadrados e retangulares são muito comuns na prática e com a publicação da norma ABNT NBR16239: 2013 são inúmeras as verificações para garantir a resistência. Este fato demanda um tempo excessivo no dimensionamento da ligação. Os programas disponíveis no meio acadêmico e profissional não contemplam as exigências da norma em vigor e apresentam algumas limitações aos usuários quanto a perfis e a materiais. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma planilha sem as limitações e que gere uma memória de cálculo como resultado final.

Na metodologia geraram-se todas as verificações, informando gradativamente ao usuário quais os parâmetros estão em acordo ou não com as prescrições de norma. A validação da planilha foi confirmada comparando-se resultados com exemplos numéricos disponíveis na bibliografia.

A quantidade enorme de verificações justifica a elaboração da planilha e a memória de cálculo correspondente.

**Palavras-chave:** Planilha para uniões entre perfis fechados; dimensionamento segundo a NBR16239: 2013; estruturas de aço.

**Apoio financeiro:** PET/MEC/SESu.

#### Introdução

As ligações desempenham um papel importante no comportamento das estruturas, assim como seu custo, que inclui material, mão de obra, os recursos tecnológicos disponíveis e complexidade de execução, impactando na viabilidade econômica do empreendimento.

Existem diversos tipos de ligações utilizadas em estruturas com perfis tubulares que promovem uma estrutura segura, econômica e de fácil execução. A figura 1 apresenta uma ligação soldada entre perfis tubulares em treliças planas, denominada tipo KT.



Figura 1 – Exemplo de ligação tubular tipo KT

As ligações apresentam excentricidade e configuração com sobreposição ou afastamento das barras. A capacidade resistente é função da força axial ou do momento fletor resistente de cálculo das diagonais ou montantes ligadas aos banzos. Essa capacidade é baseada em modos de falha definidos por ensaios experimentais: Modo A – Plastificação da face ou de toda a seção transversal do banzo, junto a diagonais ou montantes; Modo B – Plastificação, amassamento ou instabilidade da face lateral da seção transversal do banzo junto a diagonais ou montantes sob compressão; Modo C – Plastificação ou instabilidade por cisalhamento do banzo, junto a diagonais ou montantes; Modo D – Ruptura por punção da parede do banzo na área de contato com diagonais ou montantes; Modo E – Ruptura ou plastificação de diagonais ou montantes na região da solda oriunda da distribuição não uniforme de tensão; Modo F – Flambagem localizada de diagonais ou montantes comprimidos ou do banzo na ligação.

A ocorrência deste tipo de ligação é muito comum na prática. A quantidade de verificações necessárias para garantir a integridade da ligação é muito grande. Este fato inviabiliza o dimensionamento manual, que consome um tempo excessivo, considerando que treliças têm vários nós e para cada nó existem várias combinações de ações que geram esforços solicitantes diferenciados.

O objetivo é gerar uma planilha de verificação da resistência dos componentes da ligação soldada, tipo KT, em treliças planas envolvendo perfil tubular circular, retangular ou quadrado. A expectativa é criar uma ferramenta útil para os profissionais envolvidos com o dimensionamento de estruturas de aço tubulares, com redução significativa do tempo de trabalho para as verificações.

### Metodologia

Primeiramente pesquisaram-se os tipos mais comuns de ligações entre perfis tubulares que ocorrem em projetos de estruturas de passarelas treliçadas, coberturas de prédios comerciais, industriais, estádios de futebol, aeroportos, pipe-rack e vigas treliçadas de sustentação de pisos. Constatou-se que as ligações soldadas do tipo KT estão entre as mais comuns.

A NBR 16239:2013 no capítulo 6 estabelece os requisitos básicos em temperatura ambiente necessários para verificação da resistência da ligação, fornecendo parâmetros: geométricos; nível de tensão na junção de cordas, diagonais e montantes; modos de falha; limites de esbeltez das chapas componentes dos perfis tubulares; forças e momentos resistentes das barras estruturais e chapas de ligação.

Pesquisaram-se quais são os programas existentes e disponíveis no âmbito acadêmico e profissional que realizam todas as inúmeras verificações necessárias para garantir segurança e integridade das ligações, apresentando o resultado final na forma de memória de cálculo.

Um dos programas disponíveis foi desenvolvido na UNICAMP, com nome Ligações Tubulares Versão 2.8, com apoio da Vallourec Brazil. O programa analisa ligações do tipo K, T, Y e X, considerando perfis tubulares circulares e retangulares. Ligações do tipo KT não são contempladas. O programa foi desenvolvido antes a publicação da norma ABNT NBR 16239: 2013.

Outro exemplo de programa é o CoP2 – V&MEditon 1.8.1 desenvolvido por Feldmann + Weynand GmbH, 2010. O programa permite efetuar o dimensionamento de ligações entre perfis tubulares, realizando de forma automática, todas as verificações de segurança necessárias, de acordo com a EN 1993-1-8 (CEN, 2005), a partir da introdução, por parte do usuário, de um conjunto de parâmetros: configuração da junta, geometria, materiais e cargas aplicadas. Todos os parâmetros são selecionados a partir da base de dados existente no programa, não existindo a possibilidade de introduzir seções, materiais ou tipos de ligação não incluídos no programa. Na fase final de cálculo, obtém-se um arquivo de saída, onde se discriminam os valores de resistência para todos os modos de ruptura previstos na norma.

Com a publicação da norma ABNT NBR 16239 em 2013 surgiu a necessidade de desenvolver um programa com base nos critérios normativos. Os alunos bolsistas do PET Engenharia Civil da PUC Minas desenvolveram uma planilha em Excel para verificação de ligações tubulares soldadas do tipo KT, sob a orientação do tutor prof. Euler Guerra. Os dois fatos motivadores para elaboração da planilha são a limitação ao uso de seções transversais e aços não catalogados nos programas e a recente publicação da norma ABNT NBR16239: 2013.

Após a elaboração da planilha os resultados serão comparados com os exemplos numéricos desenvolvidos manualmente por MENDANHA (2006), por MENDES (2012) e por PEREIRA (2013). A finalidade deste procedimento é validar a planilha.

### Resultados e Discussão

Na ligação KT com banzo e diagonal circular, retangular ou quadrado, as duas diagonais e o montante podem apresentar sobreposição ou afastamento. A ABNT NBR 16239: 2013 estipula os modos de falhas resumidas na tabela seguinte, simplificando a memória de cálculo e planilha que contenham todas as verificações necessárias.

BANZO	DIAGONAL	SOBREPOSIÇÃO OU AFASTAMENTO	MODO FALHA
CIRCULAR	CIRCULAR	SOBREPOSIÇÃO	A
CIRCULAR	CIRCULAR	AFASTAMENTO	A, D
QUADRADO	QUADRADO	SOBREPOSIÇÃO	E
QUADRADO	QUADRADO	AFASTAMENTO	A

RETANGULAR	CIRCULAR	SOBREPOSIÇÃO	E
RETANGULAR	CIRCULAR	AFASTAMENTO	A,C,D,E
RETANGULAR	QUADRADO	SOBREPOSIÇÃO	E
RETANGULAR	QUADRADO	AFASTAMENTO	A,C,D,E

Observa-se que: para banzo circular existe apenas os modos de falha A e D; para banzo retangular os modos de falha são A,C,D e E; para banzo quadrado os modos de falha são apenas A e E.

Ligações KT envolvendo diagonal e montante circular ou retangular e com banzo retangular podem apresentar necessidade de reforço com objetivo de evitar a ocorrência de modos de falha conforme as três situações: nos modos de falha A, D e E, utilizar chapa horizontal de reforço na mesa do banzo que recebe diagonal e montante; no modo de falha C, utilizar chapas de reforço laterais nas duas almas do banzo; no caso de sobreposição insuficiente entre diagonais ou montantes, soldar entre esses elementos um enrijecedor vertical, perpendicular ao banzo. Estes detalhes são apresentados por ARAÚJO (2016).

No caso de diagonal, montante e banzo circulares com sobreposição o único modo de falha é o A realizando-se vinte e três verificações e determinam-se cinco parâmetros auxiliares para validar a resistência da ligação. Este é caso mais simples de verificação de ligações do tipo KT. No caso de ligação KT com as diagonais e montantes circulares e banzo retangular com afastamento os modos de falha são A, C, D e E, realizando-se trinta e sete verificações e determinam-se dez parâmetros auxiliares para validar a resistência da ligação.

Os dois exemplos demonstram a necessidade da elaboração de uma planilha que realize todas as verificações com a geração automática da memória de cálculo correspondente.

## Conclusões

A análise de resistência das ligações KT soldadas uniplanares envolvendo diagonais, montantes e banzos com perfis tubulares em conformidade com os requisitos da norma ABNT NBR16239: 2013 é extremamente trabalhosa. A quantidade de parâmetros geométricos e físicos, limites de esbeltez e modos de falha é grande. Este fato inviabiliza o dimensionamento manual destas ligações, pois consome um tempo excessivo, considerando que sistemas estruturais treliçados têm vários nós e para cada nó existem várias combinações de ações que geram esforços solicitantes diferenciados.

O presente trabalho gerou a planilha de cálculo (imagens nas figuras 2 e 3) de ligações do tipo KT.

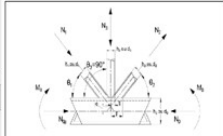
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS PET - ENGENHARIA CIVIL LIGAÇÃO TIPO KT - ABNT NBR 16239:2013		PET Civil	
NOME DO PROJETO:	DATA:	28/11/2018	
RESPONSÁVEL:	PÁGINA: 1/4		
OBSERVAÇÕES:	PÁGINA: 1/4		
DADOS DO NÓ			
DADOS DO BANZO		DADOS DO MONTANTE	
Seção Quadrada		Seção Quadrada	
Altura (h0): 150,0 mm	Base (b0): 150,0 mm	Altura (h3): 130,0 mm	Base (b3): 130,0 mm
Espessura (t0): 8,2 mm	Perfil soldado	Espessura (t3): 6,4 mm	Perfil soldado
Área (A0): 4.651,04 mm <sup>2</sup>	Módulo Resistente (W0): 208.516,25 mm <sup>3</sup>	Área (A3): 3.164,16 mm <sup>2</sup>	Módulo Resistente (W3): 124.277,82 mm <sup>3</sup>
Resist. Caract. ao Escoamento (fy0): 350 MPa		Resist. Caract. ao Escoamento (fy3): 350 MPa	
DADOS DA DIAGONAL 1		DADOS DA DIAGONAL 2	
Seção Quadrada		Seção Quadrada	
Altura (h1): 130,0 mm	Base (b1): 130,0 mm	Altura (h2): 130,0 mm	Base (b2): 130,0 mm
Espessura (t1): 6,4 mm	Perfil soldado	Espessura (t2): 6,4 mm	Perfil soldado
Área (A1): 3.164,16 mm <sup>2</sup>	Módulo Resistente (W1): 124.277,82 mm <sup>3</sup>	Área (A2): 3.164,16 mm <sup>2</sup>	Módulo Resistente (W2): 124.277,82 mm <sup>3</sup>
Resist. Caract. ao Escoamento (fy1): 350		Resist. Caract. ao Escoamento (fy2): 350 MPa	
SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO E MÓDULO DE ELASTICIDADE			
<ul style="list-style-type: none"> <li>N0, sd: -200,00 KN</li> <li>N0, sd: -352,80 KN</li> <li>N1, sd: -100,00 KN</li> <li>N2, sd: 127,00 KN</li> <li>N3, sd: -20,00 KN</li> <li>M0, sd: -1.000,00 KN.cm</li> </ul>			
Módulo de Elasticidade Longitudinal (E): 200.000 MPa			
EXCENTRICIDADE, DISTÂNCIA ENTRE BARRAS E ÂNGULOS			
<ul style="list-style-type: none"> <li>e1: 0,00 mm</li> <li>g1: -84,64 mm</li> <li>e2: 0,00 mm</li> <li>g2: -84,64 mm</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>θ1: 47,70° (0,83 radianos)</li> <li>θ2: 47,70° (0,83 radianos)</li> </ul>			
 <p>LIGAÇÃO COM SOBREPOSIÇÃO</p>			
REQUISITOS NECESSÁRIOS			
Item 6.1.2.a - ABNT NBR 16239:2013 - Generalidades - Requisitos necessários - Os ângulos θ1 entre o banzo e as diagonais e entre montantes e diagonais adjacentes não podem ser inferiores a 30°.			
$\theta_1 \geq 30^\circ$	→	$\theta_1 = 47,70^\circ \geq 30^\circ$	Conforme
$\theta_2 \geq 30^\circ$	→	$\theta_2 = 47,70^\circ \geq 30^\circ$	Conforme
Item 6.1.2.d - ABNT NBR 16239:2013 - Generalidades - Requisitos necessários - Em ligações com sobreposição, a ligação deve ter dimensão suficiente para garantir a adequada transferência dos esforços de uma barra para a outra. Para isso, a razão entre a sobreposição q e a dimensão p deve ser maior ou igual a 0,25.			
$p1 = \frac{h1}{\text{sen}\theta1}$	=	175,76 mm	
$p2 = \frac{h2}{\text{sen}\theta2}$	=	175,76 mm	
$q1 \geq 0,25 \cdot p1$	→	84,64 mm	≥ 43,94 mm Conforme
$q2 \geq 0,25 \cdot p2$	→	84,64 mm	≥ 43,94 mm Conforme
Item 6.1.2.e - ABNT NBR 16239:2013 - Generalidades - Requisitos necessários - Quando as barras sobrepostas tiverem espessuras ou resistências ao escoamento diferentes, a barra com menor produto entre essas duas grandezas deve se sobrepor à outra.			
$t1 \cdot fy1 \leq t3 \cdot fy3$	→	2.240,0	≤ 2.240,0 Conforme
$t2 \cdot fy2 \leq t3 \cdot fy3$	→	2.240,0	< 2.240,0 Conforme
Item 6.1.2.f - ABNT NBR 16239:2013 - Generalidades - Requisitos necessários - Quando as barras sobrepostas tiverem larguras diferentes no plano da ligação, a barra com menor largura deve se sobrepor à mais larga.			
$b1 \leq b3$	→	b1 = 130,0 mm	≤ b3 = 130,0 mm Conforme
$b2 \leq b3$	→	b2 = 130,0 mm	≤ b3 = 130,0 mm Conforme
Item 6.1.2.h - ABNT NBR 16239:2013 - Generalidades - Requisitos necessários - A espessura nominal da parede dos perfis tubulares não pode ser inferior a 2,5 mm.			
$t0 \geq 2,5$ mm	→	t0 = 8,2 mm	≥ 2,5 mm Conforme
$t1 \geq 2,5$ mm	→	t1 = 6,4 mm	≥ 2,5 mm Conforme
$t2 \geq 2,5$ mm	→	t2 = 6,4 mm	≥ 2,5 mm Conforme
$t3 \geq 2,5$ mm	→	t3 = 6,4 mm	≥ 2,5 mm Conforme
Item 4.6 - ABNT NBR 16239:2013 - Análise Estrutural de Treliças - Os momentos fletores resultantes de excentricidades podem ser desprezados no dimensionamento de ligações se a excentricidade estiver dentro dos seguintes limites:			
$-0,55h0 \leq e1 \leq 0,25h0$	→	-82,5 mm	≤ 0,00 mm ≤ 37,5 mm Conforme
$-0,55h0 \leq e2 \leq 0,25h0$	→	-82,5 mm	≤ 0,00 mm ≤ 37,5 mm Conforme

Figura 2 - Exemplo de aplicação da planilha para ligações tipo KT - Páginas 1 e 2

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS PET - ENGENHARIA CIVIL		PET civil																																																																																																										
NOME DO PROJETO: LIGAÇÃO TIPO KT - ABNT NBR 16239:2013	DATA: 28/11/2018	PÁGINA: 3/4																																																																																																										
RESPONSÁVEL: OBSERVAÇÕES:																																																																																																												
<p>Item 6.3.1 - ABNT NBR 16239:2013 - Generalidades - Requisitos necessários - A força resistente de cálculo deve ser tomada como o menor valor encontrado entre os modos de falha A até F, conforme 6.3.2 e 6.3.3, desde que sejam atendidas às seguintes condições da tabela 7. Ligação KT com sobreposição - Banzo retangular, diagonais e montante retangulares:</p>																																																																																																												
<table> <tr> <td><math>0,5 \leq h_0/b_0 \leq 2,0</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>0,5 \leq 1,00</math></td> <td><math>\leq 2,0</math></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>0,5 \leq h_1/b_1 \leq 2,0</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>0,5 \leq 1,00</math></td> <td><math>\leq 2,0</math></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>0,5 \leq h_2/b_2 \leq 2,0</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>0,5 \leq 1,00</math></td> <td><math>\leq 2,0</math></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>0,5 \leq h_3/b_3 \leq 2,0</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>0,5 \leq 1,00</math></td> <td><math>\leq 2,0</math></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>h_1/b_0 \geq 0,25</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>0,87 \geq 0,25</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>h_2/b_0 \geq 0,25</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>0,87 \geq 0,25</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>h_3/b_0 \geq 0,25</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>0,87 \geq 0,25</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>b_0/t_0 \leq 36</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>18,29 \leq 36</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>h_0/t_0 \leq 36</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>18,29 \leq 36</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>b_0/t_0 \leq 1,45(E/ff_y)^{0,5}</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>18,29 \leq 34,66</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>h_0/t_0 \leq 1,45(E/ff_y)^{0,5}</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>18,29 \leq 34,66</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>b_3/b_1 \geq 0,75</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>1,00 \geq 0,75</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>b_3/b_2 \geq 0,75</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>1,00 \geq 0,75</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>25\% \leq \lambda_{ov1} \leq 100\%</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>25\% \leq 48,2\%</math></td> <td><math>\leq 100\%</math></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>25\% \leq \lambda_{ov2} \leq 100\%</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>25\% \leq 48,2\%</math></td> <td><math>\leq 100\%</math></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>b_1/t_1 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>20,31 \leq 26,30</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>h_1/t_1 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>20,31 \leq 26,30</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>b_2/t_2 \leq 35</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>20,31 \leq 35</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>h_2/t_2 \leq 35</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>20,31 \leq 35</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>b_3/t_3 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>20,31 \leq 26,30</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> <tr> <td><math>h_3/t_3 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>20,31 \leq 26,30</math></td> <td></td> <td>Conforme</td> </tr> </table>				$0,5 \leq h_0/b_0 \leq 2,0$	$\rightarrow$	$0,5 \leq 1,00$	$\leq 2,0$	Conforme	$0,5 \leq h_1/b_1 \leq 2,0$	$\rightarrow$	$0,5 \leq 1,00$	$\leq 2,0$	Conforme	$0,5 \leq h_2/b_2 \leq 2,0$	$\rightarrow$	$0,5 \leq 1,00$	$\leq 2,0$	Conforme	$0,5 \leq h_3/b_3 \leq 2,0$	$\rightarrow$	$0,5 \leq 1,00$	$\leq 2,0$	Conforme	$h_1/b_0 \geq 0,25$	$\rightarrow$	$0,87 \geq 0,25$		Conforme	$h_2/b_0 \geq 0,25$	$\rightarrow$	$0,87 \geq 0,25$		Conforme	$h_3/b_0 \geq 0,25$	$\rightarrow$	$0,87 \geq 0,25$		Conforme	$b_0/t_0 \leq 36$	$\rightarrow$	$18,29 \leq 36$		Conforme	$h_0/t_0 \leq 36$	$\rightarrow$	$18,29 \leq 36$		Conforme	$b_0/t_0 \leq 1,45(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$18,29 \leq 34,66$		Conforme	$h_0/t_0 \leq 1,45(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$18,29 \leq 34,66$		Conforme	$b_3/b_1 \geq 0,75$	$\rightarrow$	$1,00 \geq 0,75$		Conforme	$b_3/b_2 \geq 0,75$	$\rightarrow$	$1,00 \geq 0,75$		Conforme	$25\% \leq \lambda_{ov1} \leq 100\%$	$\rightarrow$	$25\% \leq 48,2\%$	$\leq 100\%$	Conforme	$25\% \leq \lambda_{ov2} \leq 100\%$	$\rightarrow$	$25\% \leq 48,2\%$	$\leq 100\%$	Conforme	$b_1/t_1 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 26,30$		Conforme	$h_1/t_1 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 26,30$		Conforme	$b_2/t_2 \leq 35$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 35$		Conforme	$h_2/t_2 \leq 35$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 35$		Conforme	$b_3/t_3 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 26,30$		Conforme	$h_3/t_3 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 26,30$		Conforme
$0,5 \leq h_0/b_0 \leq 2,0$	$\rightarrow$	$0,5 \leq 1,00$	$\leq 2,0$	Conforme																																																																																																								
$0,5 \leq h_1/b_1 \leq 2,0$	$\rightarrow$	$0,5 \leq 1,00$	$\leq 2,0$	Conforme																																																																																																								
$0,5 \leq h_2/b_2 \leq 2,0$	$\rightarrow$	$0,5 \leq 1,00$	$\leq 2,0$	Conforme																																																																																																								
$0,5 \leq h_3/b_3 \leq 2,0$	$\rightarrow$	$0,5 \leq 1,00$	$\leq 2,0$	Conforme																																																																																																								
$h_1/b_0 \geq 0,25$	$\rightarrow$	$0,87 \geq 0,25$		Conforme																																																																																																								
$h_2/b_0 \geq 0,25$	$\rightarrow$	$0,87 \geq 0,25$		Conforme																																																																																																								
$h_3/b_0 \geq 0,25$	$\rightarrow$	$0,87 \geq 0,25$		Conforme																																																																																																								
$b_0/t_0 \leq 36$	$\rightarrow$	$18,29 \leq 36$		Conforme																																																																																																								
$h_0/t_0 \leq 36$	$\rightarrow$	$18,29 \leq 36$		Conforme																																																																																																								
$b_0/t_0 \leq 1,45(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$18,29 \leq 34,66$		Conforme																																																																																																								
$h_0/t_0 \leq 1,45(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$18,29 \leq 34,66$		Conforme																																																																																																								
$b_3/b_1 \geq 0,75$	$\rightarrow$	$1,00 \geq 0,75$		Conforme																																																																																																								
$b_3/b_2 \geq 0,75$	$\rightarrow$	$1,00 \geq 0,75$		Conforme																																																																																																								
$25\% \leq \lambda_{ov1} \leq 100\%$	$\rightarrow$	$25\% \leq 48,2\%$	$\leq 100\%$	Conforme																																																																																																								
$25\% \leq \lambda_{ov2} \leq 100\%$	$\rightarrow$	$25\% \leq 48,2\%$	$\leq 100\%$	Conforme																																																																																																								
$b_1/t_1 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 26,30$		Conforme																																																																																																								
$h_1/t_1 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 26,30$		Conforme																																																																																																								
$b_2/t_2 \leq 35$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 35$		Conforme																																																																																																								
$h_2/t_2 \leq 35$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 35$		Conforme																																																																																																								
$b_3/t_3 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 26,30$		Conforme																																																																																																								
$h_3/t_3 \leq 1,10(E/ff_y)^{0,5}$	$\rightarrow$	$20,31 \leq 26,30$		Conforme																																																																																																								
PARÂMETROS E CONVENÇÕES																																																																																																												
$\sigma_{0,5d} = \frac{N_{0,5d}}{A_0} + \frac{M_{0,5d}}{W_0}$		$\sigma_{0,5d} = -12,38 \text{ KN/cm}^2$																																																																																																										
$n = \frac{\sigma_{0,5d}}{f_{yd}}$ , com sinal negativo para compressão		$n = -0,35$																																																																																																										
$n < 0$ : $k_n = 1,3 + \frac{0,4n}{\beta} \leq 1,0$		$k_n = 1,00$																																																																																																										
$n \geq 0$ : $k_n = 1,0$		$k_n = 1,00$																																																																																																										
$\beta = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}$		$\beta = 0,87$																																																																																																										
$\gamma = \frac{h_0}{2t_0}$		$\gamma = 9,15$																																																																																																										

Figura 3 - Exemplo de aplicação da planilha para ligações tipo KT - Páginas 3 e 4

O exemplo que consta das imagens anteriores aborda uma ligação KT com banzos, diagonais e montantes quadrados com sobreposição. A planilha reproduz na primeira página os dados de entrada e a geometria da ligação definidas pelo usuário. Nas três páginas seguintes a planilha apresenta todas as verificações necessárias para validar a resistência da ligação com uma redução expressiva do tempo de trabalho. Neste relatório o usuário identifica quais os requisitos não atendidos, possibilitando assim correções rápidas em conformidade com os requisitos das normas ABNT 16239: 2013 e ABNT 8800: 2008. Em cada uma das verificações são citados os itens da norma correspondentes facilitando a análise dos resultados apresentados pela planilha.

### Referências bibliográficas

ARAÚJO, Afonso Henrique Mascarenhas de, et al. **Projeto de estruturas de edificações com perfis tubulares de aço**. Belo Horizonte: Vallourec, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, **NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – **NBR 16239: – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edificações com Perfis Tubulares**, Rio de Janeiro, 2013.

Eurocode 3:2007, **Design of steel structures – part 1-8: General – Design of joints**, CEN, European Committee for Standardisation, Brussels, prEN 1993-1.8.

MEDANHA, Fabiano Oliveira. **Análise de ligações de perfis tubulares em aço do tipo K e KT**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG.

MENDES, Francisco Kanazart. **Estudo teórico experimental de ligações T e KT, em perfis tubulares de aço**. 2012. Revista Escola de Minas Vol 65 N<sup>o</sup> 2 – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG.

PEREIRA, Filipe José Botelho. **Juntas entre perfis tubulares de aço**. 2013. 5f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2013.