

6 Análise de Resultados

A metodologia descrita nos Capítulos 4 e 5 foi implementada computacionalmente e neste Capítulo alguns testes numéricos são apresentados para verificar a sua validade e consistência. Na primeira parte deste capítulo alguns resultados obtidos da análise de estruturas simples submetidas a cargas reais são apresentados para diferentes valores de afastamento das seções adjacentes e diferentes graus de refinamento para as malhas. Estes resultados são comparados com avaliações analíticas. Na segunda parte são consideradas as análises de duas estruturas reais, sob carregamentos complexos referentes a comportas hidráulicas, onde a junção por soldagem de placas é extensivamente utilizada.

6.1. **Avaliação da Metodologia Proposta. Afastamento Requerido das Seções de Avaliação de Tensões**

Nesta seção apresentam-se alguns testes numéricos objetivando identificar a distância a utilizar na avaliação das tensões da seção adjacente à junta. Conforme anteriormente justificado no Capítulo 5, devido à natureza do modelo numérico utilizado – modelo de placas planas – observou-se que esta não pode se localizar muito próximo à junta. Em modelos estruturais com elementos de casca não é possível a representação exata da região próxima ao cordão porque: a) há a interseção das espessuras dos elementos nos modelos das chapas de aba e de topo; b) o aumento da rigidez local da estrutura devido à presença do material da solda na junta não representado; c) a presença de tensões residuais e a variação das propriedades do material na zona termicamente afetada não são considerados e; d) os efeitos da concentração de tensões originada pela descontinuidade geométrica própria das juntas não pode ser representada.

Assim, os elementos junto à região da solda podem apresentar resultados inconsistentes e, se considerados, gerar erros no dimensionamento dos cordões. Por outro lado, resultados de tensão representativos da região próxima da junta devem ser utilizados para melhor representar as cargas a serem transmitidas.

Considerando-se uma junta do tipo T, conforme mostrada na Figura 6.1, prescreve-se as formas simples de carregamento mostradas com a finalidade de comparar os resultados analíticos com os numericamente obtidos em diversas distâncias de seções adjacentes em que são avaliadas as tensões, e alguns graus de refinamento da malha que representam o modelo. Com isso espera-se estabelecer recomendações práticas a serem adotadas na aplicação da metodologia em casos reais.

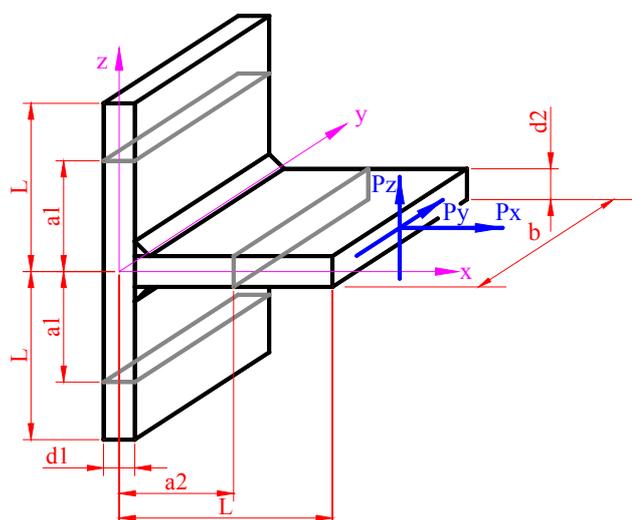


Figura 6.1 – Modelo de uma junta soldada submetida a esforços axiais e transversais

6.1.1.

Caso 1 - Chapa de Topo Submetida a Carregamento Axial (P_x)

Considera-se a chapa de topo submetida somente a esforços axiais em que os resultados numéricos obtidos de um modelo de elementos finitos, para uma chapa de lado 500mm e espessura 10mm de topo engastada, são considerados. Três modelos com refinamentos uniformes são então utilizados: 256 (16×16) elementos, 1024 (32×32) elementos e 4096 (64×64) elementos de casca (SHELL 93) [18]. As condições de contorno consideradas são de uma chapa engastada em uma das arestas e submetida a um carregamento distribuído de 200kN/m, conforme mostrado na Figura

6.2 - modelo representativo de uma chapa de topo soldada através de cordões de filete em uma outra totalmente rígida. No modelo todos os graus de liberdade nos nós do engaste são fixos.

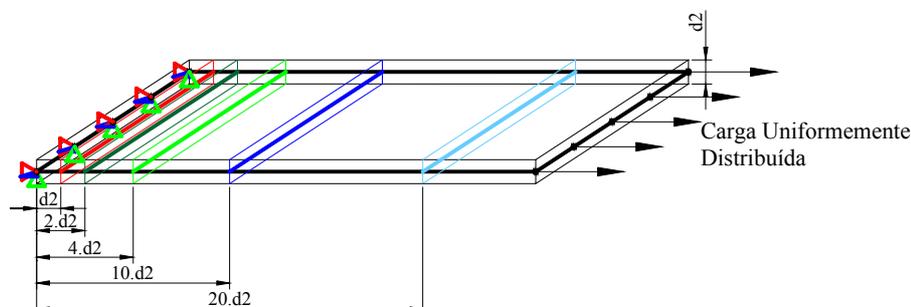


Figura 6.2 – Restrições e Carregamentos na Chapa de Topo Considerada ($P_x = 200\text{kN/m}$)

O resultado do dimensionamento do cordão ao longo do comprimento da junta é mostrado na Figura 6.3 obtido para os três modelos descritos. Para cada modelo foi verificado o dimensionamento do cordão (altura do cordão ao longo do comprimento da solda) resultante dos valores das tensões avaliadas a cinco distâncias do engaste: 1, 2, 4, 10 e 20 vezes a espessura da chapa de topo (d_2). Estes são comparados no gráfico com o resultado fornecido pelo método analítico e estão representados pelas seções A, B, C, D e E, respectivamente. Nos resultados da Figura 6.3 apenas a metade da largura da chapa, foi representada.

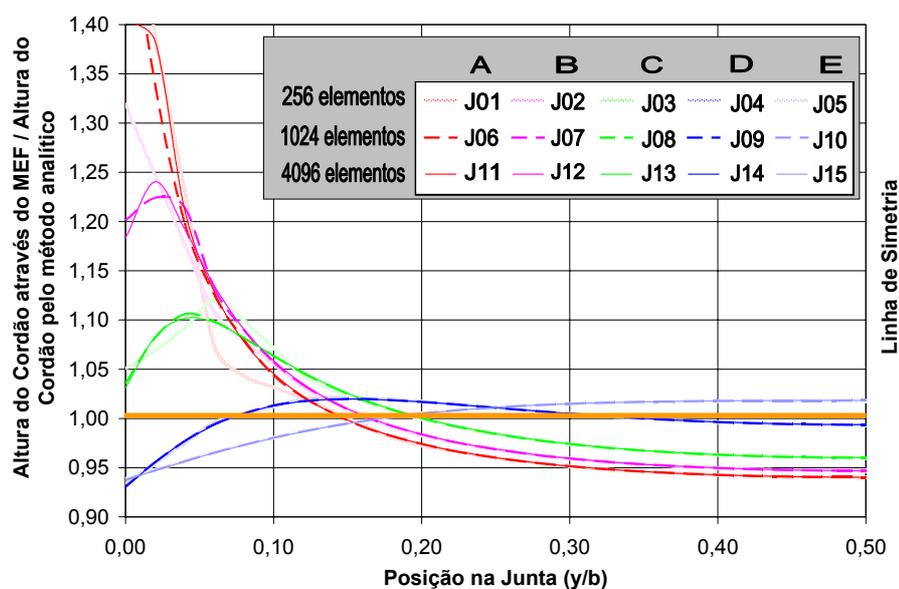


Figura 6.3 – Espessura do Cordão de Solda ao Longo da Junta (caso 1)

Destes resultados observam-se os maiores valores na região próxima às extremidades da junta. Este fato deve-se à variação das tensões normais de membrana (σ_{x0}) ao longo da seção analisada, revelando o efeito de borda com maior intensidade nas seções mais próximas ao engaste (A, B e C), como está mostrado na Figura 6.4. Por outro lado, estas tensões se distribuem de forma mais uniforme nas seções afastadas (D e E).

No modelo analítico, assume-se que o carregamento é uniformemente resistido no engaste, gerando tensões normais uniformes ao longo da seção paralela à junta. Os resultados obtidos através do Método dos Elementos Finitos mostram que ocorrem variações de tensão nas bordas. Deve-se ressaltar que os resultados obtidos para o dimensionamento do cordão de solda através da metodologia proposta dependem fortemente do modelo utilizado. A análise de tensões em regiões próximas a engastes, utilizando-se elementos de cascas não é adequada devido à representação pouco realística da descontinuidade geométrica presente, uma vez que as geometrias do filete e da junção não são representadas. Por isso, deve-se considerar uma análise criteriosa dos resultados para o dimensionamento – discutindo-se a validade de picos de tensão –, quando estas seções são analisadas. Já nas regiões afastadas da borda da junta, o aumento da quantidade de elementos utilizados pouco influi na variação de resultados.

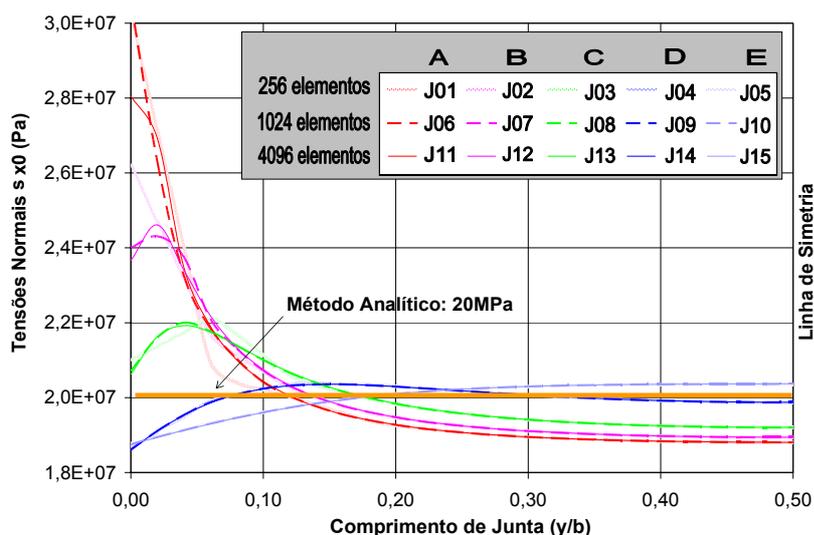


Figura 6.4 – Tensões de Membrana (σ_{x0}) ao Longo da Junta

A Figura 6.5 apresenta a variação no dimensionamento da altura do cordão em dois pontos analisados: na extremidade do cordão (em azul) e no ponto médio do cordão (em vermelho) para diferentes coeficientes de afastamentos em malhas de 4096 (64 x 64) elementos. O valor obtido para o dimensionamento no ponto médio se aproxima do valor analítico quando são analisadas as tensões na seção D ($ka_2=10$). Para afastamentos maiores, obtém-se o dimensionamento para o cordão cerca de 2% acima do valor teórico. No entanto, da análise dos pontos da extremidade do cordão, observam-se valores 40% acima do analítico para o dimensionamento utilizando-se as tensões na seção A ($ka_2=1$). A diminuição destes valores é observada com o aumento do coeficiente de afastamento (ka_2), sendo obtido o valor teórico para o coeficiente de afastamento igual a cinco. Assim a metodologia proposta aplicada à análise de chapas de topo submetidas a carregamentos axiais apenas, é sensível à distância da seção adjacente onde são tomados os valores de tensão, revelando picos de tensão nas regiões da extremidade do cordão, que dependem da rigidez da chapa de aba, normalmente desprezados pela metodologia tradicional.

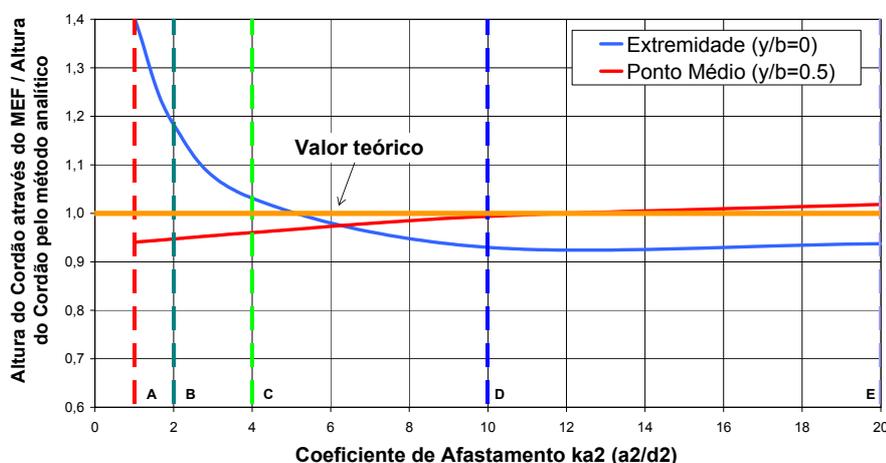


Figura 6.5 – Espessura do Cordão de Solda vs Coeficiente de Afastamento (ka_2)

6.1.2.

Caso 2 - Chapa de Topo Submetida a Carregamento de Cisalhamento Paralelo à Direção da Junta (P_y)

A chapa de topo considerada na análise anterior é agora submetida a um carregamento distribuído (200kN/m) na direção do eixo y aplicado na extremidade livre oposta ao engaste para os mesmos modelos considerados anteriormente. Devido

à carga transversal atuante sobre a placa, as componentes de tensões de maior intensidade nas seções consideradas próximas ao engaste são: a cisalhante na direção transversal (τ_{xy}) e a normal (σ_{x0}) devido à flexão segundo o eixo normal à placa. Nas seções próximas do engaste (seções A e B) o valor da tensão normal nas bordas da chapa se aproxima do valor teórico no engaste. Para as seções com afastamento maior, os valores medidos de tensão normal são menores e a espessura do cordão requerida pelo método é também menor. Valores obtidos para a altura do cordão ao longo da junta, calculado a partir dos resultados nas seções a diferentes distâncias das seções adjacentes estão mostrados na Figura 6.6.

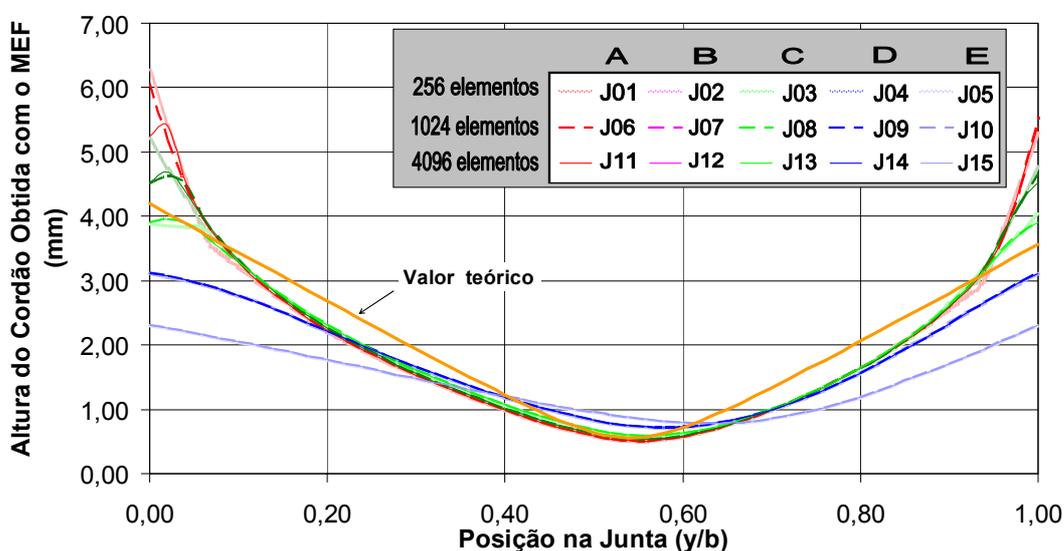


Figura 6.6 – Altura do Cordão ao Longo da Junta

Embora apresentem semelhança com o resultado teórico, para nenhuma das distâncias em que são tomadas as tensões é reproduzida a solução obtida com o cálculo analítico, quando é estabelecida a relação entre o cálculo obtido pelo método dos elementos finitos e os valores analíticos, conforme mostrado na Figura 6.7. Este fato se deve à diferença entre os valores das componentes de tensão normal σ_{x0} e cisalhante τ_{xy} obtidos através destes dois métodos. Na Figura 6.8 a variação da tensão normal devido à flexão (σ_{x0}) ao longo das seções adjacentes à junta (A até E) é apresentada. A distribuição de tensões nas seções mais afastadas apresenta o aspecto, linear como a distribuição teórica, porém com um coeficiente angular menor que o esperado na seção do engaste. Portanto, a tomada de tensões em seções muito

afastadas da junta não é adequada, pois considera apenas a flexão em torno do eixo normal à chapa de topo na seção adjacente, e não na junta. Por outro lado, os efeitos de borda nas seções próximas à junta (A e B) provocam picos de tensão na região da extremidade da junta, assim como foi observado para o caso 1 (na seção 6.1.1).

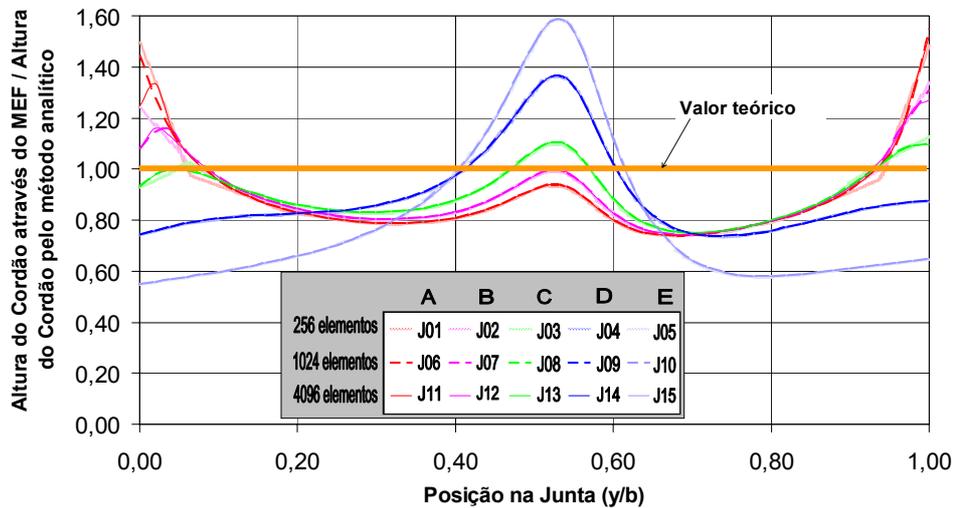


Figura 6.7 – Espessura do Cordão de Solda ao Longo da Junta (caso 2)

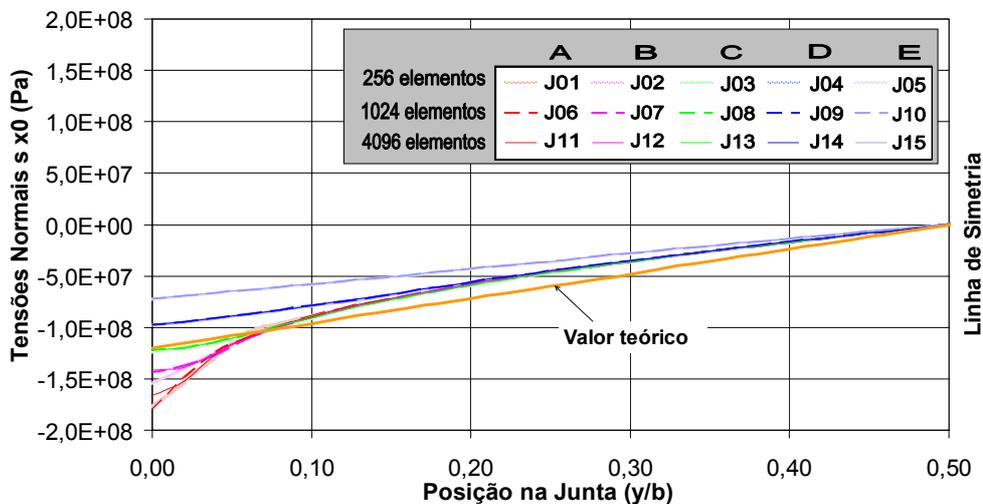


Figura 6.8 – Tensões normais (σ_{x0}) ao Longo das Seções Adjacentes

Da distribuição de tensões cisalhantes (τ_{xy}) ao longo das diversas seções adjacentes, mostradas na Figura 6.9, observa-se que nas seções mais próximas do engaste a distribuição de tensões é mais uniforme ao longo do comprimento da junta com um pico de tensão nas extremidades. Afastando-se do engaste, no entanto, observa-se uma distribuição parabólica destas componentes de tensão. Em nenhuma

das seções observa-se um valor constante, como é admitido no modelo analítico. Estes valores afetam, principalmente, o dimensionamento do cordão no ponto médio da junta, exatamente onde as tensões normais são nulas (linha neutra da seção), como mostrado na Figura 6.10.

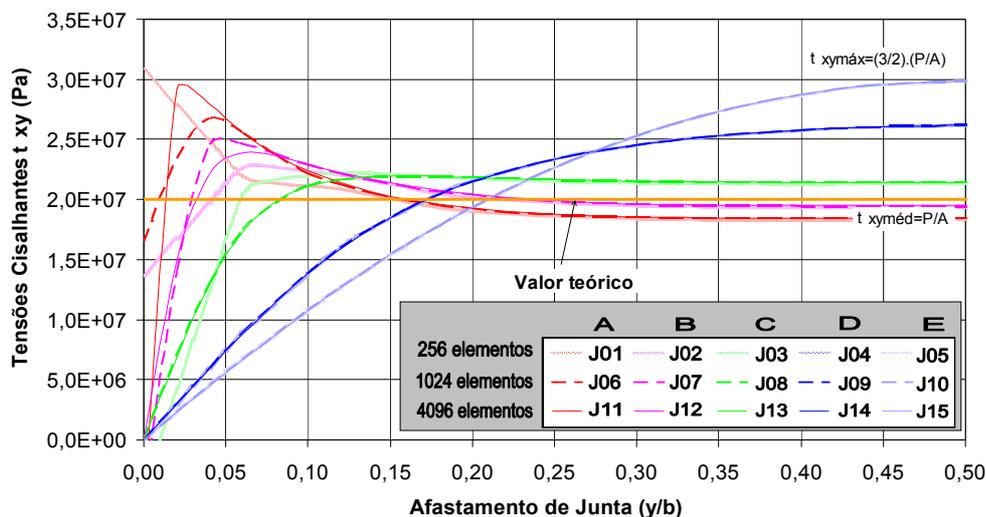


Figura 6.9 – Tensões Cisalhantes τ_{xy} ao longo das seções

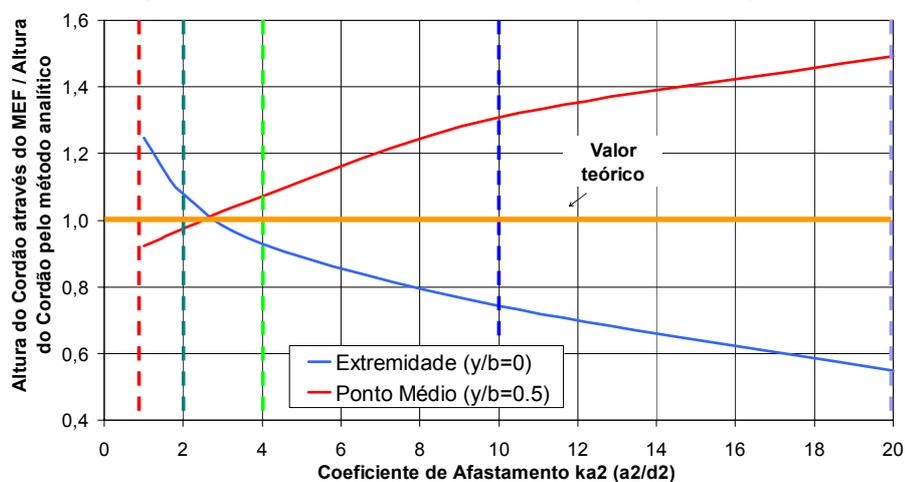


Figura 6.10 – Espessura do Cordão de Solda vs Coeficiente de Afastamento

Neste caso para o ponto médio há divergência do dimensionamento obtido em relação ao valor teórico, com o aumento do coeficiente de afastamento. Isto ocorre porque nas seções afastadas, onde ocorre distribuição parabólica das componentes de tensão cisalhantes (τ_{xy}), o valor máximo neste ponto é 50% mais elevado do que a tensão média. Na extremidade do cordão ocorre uma acentuada queda no valor de

dimensionamento até um valor de coeficiente de afastamento 4 devido à diminuição dos picos de tensão causados pelo efeito de borda nas seções próximas ao engaste. Para valores de afastamento maiores, esta diminuição torna-se linear devido à redução linear da flexão segundo o eixo normal à placa. Nota-se através destes resultados que a redução no valor de dimensionamento do cordão é considerável quando são analisadas seções muito afastadas do engaste. Por outro lado, o aumento que se observa para o dimensionamento no ponto médio da junta em relação ao cálculo analítico, não pode ser desprezado. Porém, como o dimensionamento neste ponto é função predominante da componente de tensão de cisalhamento (τ_{xy}), estas são relevantes somente para o caso de chapas curtas (como no modelo utilizado). No caso de chapas longas, o cisalhamento transversal pode ser desprezível em relação à flexão. Com isso devem ser analisadas seções próximas à junta, porém afastadas suficientemente para que os efeitos de borda sejam minimizados.

6.1.3.

Caso 3 - Chapa de Topo Submetida a Carregamento de Cisalhamento Transversal à Direção da Junta (Pz)

Em uma chapa de topo engastada em uma de suas extremidades e submetida ao carregamento distribuído no sentido transversal à junta na extremidade oposta, espera-se que sejam predominantes as componentes das tensões de flexão. O modelo em elementos finitos das análises anteriores é submetido a um carregamento transversal uniforme ao longo da extremidade oposta ao engaste de 20kN/m. A tensão cisalhante (τ_{xz}) obtida como resultado pelo programa ANSYS pode ser quantificada pelo seu valor médio, ou o seu valor máximo, dependendo das características do elemento a ser utilizado [18]. No caso específico do elemento SHELL93 as tensões cisalhantes na direção transversal ao elemento são baseadas no valor médio, da mesma forma como foi considerado na formulação da metodologia deste trabalho.

Na Figura 6.11 o dimensionamento do cordão de solda ao longo da junta obtido pelo método dos elementos finitos é comparado à solução fornecida pelo método analítico. Observa-se que na região próxima à borda da junta o resultado para o dimensionamento é menor do que o valor teórico.

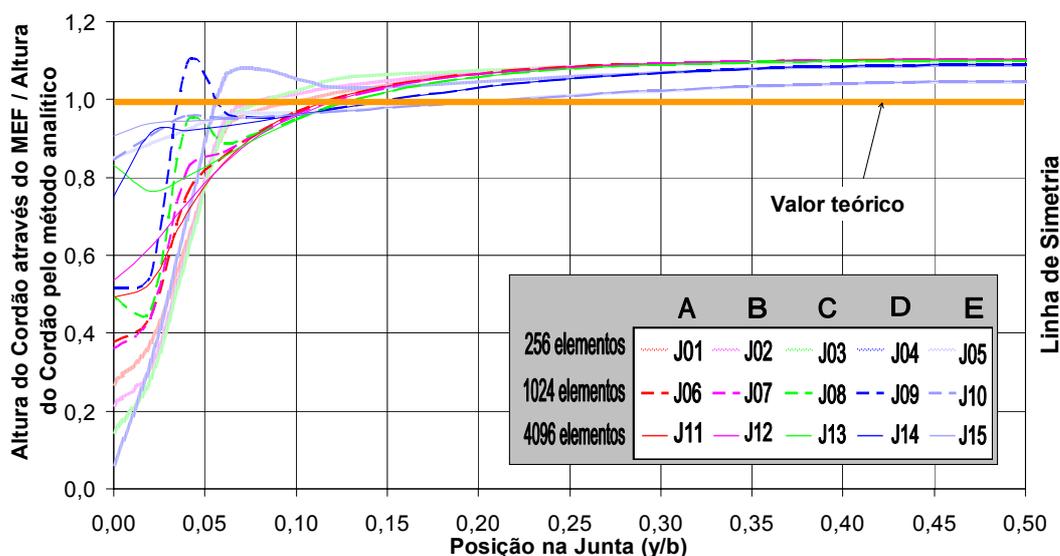


Figura 6.11 – Espessura do Cordão de Solda ao Longo da Junta (caso 3)

A razão principal desta diferença resulta da distribuição das componentes de tensão de flexão (σ_{x1}) observadas nas diferentes seções analisadas. Assim como observado nos casos anteriores, ocorrem variações bruscas nas seções próximas ao engaste. Porém, desta vez, valores mínimos de tensão foram obtidos ao invés de picos, como é mostrado na Figura 6.12. A distribuição torna-se mais homogênea nas seções mais afastadas, todavia, os resultados apresentam um decréscimo em relação aos valores obtidos através do método analítico. Ao contrário do que foi observado no caso 2 (seção 6.1.2), esta redução é compensada na metodologia proposta adicionando-se a flexão gerada pelo esforço cortante medido na seção de interesse através da componente de tensão de cisalhamento transversal à chapa (τ_{xz}), como descrito na seção 4.1.1, equação (4.10). Então, o dimensionamento do cordão se aproxima do valor obtido através do método analítico devido a esta parcela adicional de momento fletor.

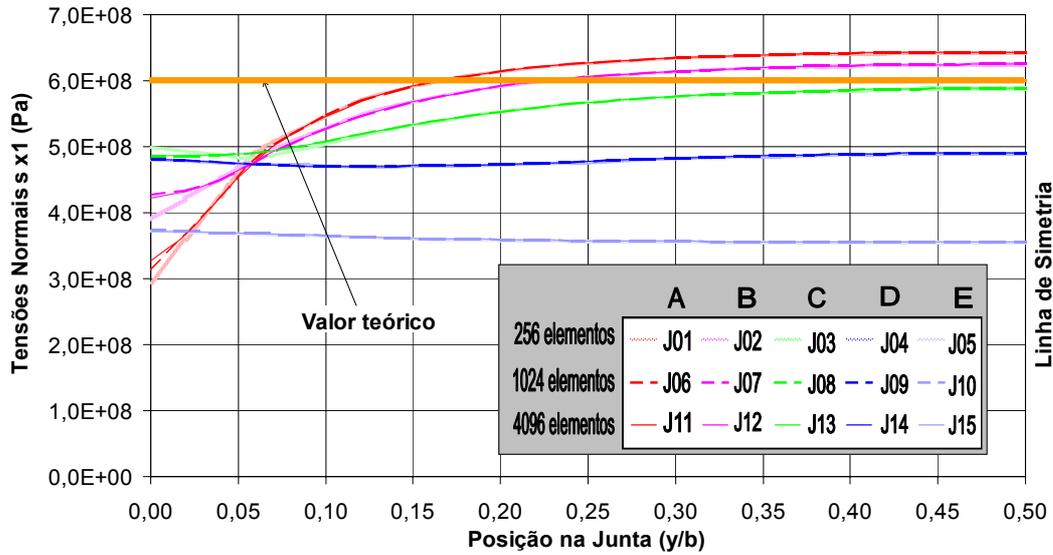


Figura 6.12 – Tensões normais (σ_{x1}) ao Longo das Seções Adjacentes

Analogamente aos casos anteriores, mostra-se na Figura 6.13 a variação do dimensionamento obtido através da metodologia em relação ao do método analítico para pontos na extremidade e no ponto médio da junta. A partir da metodologia proposta os resultados se aproximam para o valor teórico do dimensionamento do cordão com o aumento do afastamento das seções adjacentes.

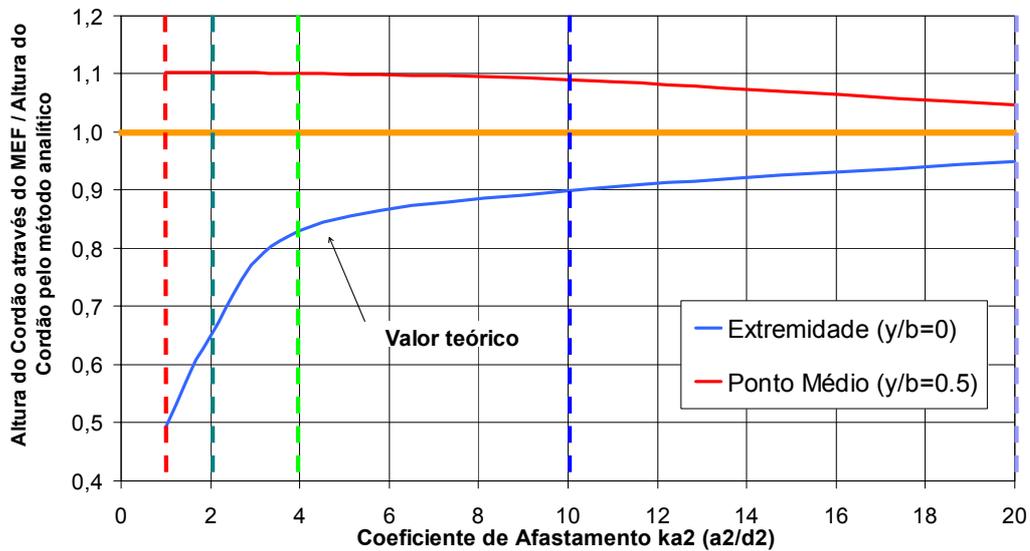


Figura 6.13 – Espessura do Cordão de Solda vs Coeficiente de Afastamento

Nos tópicos anteriores foram mostradas algumas comparações entre o dimensionamento clássico do cordão e os resultados obtidos pela metodologia proposta, utilizando-se os valores de tensão nas chapas de topo. Nas próximas seções estudos semelhantes são apresentados para valores de tensão nas chapas de aba.

6.1.4.

Caso 4 - Chapa de Aba Submetida a Carregamento Axial (P_zs e P_zi)

Três modelos com refinamentos uniformes são considerados para representar a chapa de aba: 450 (15 x 30) elementos, 1800 (30 x 60) elementos e 4050 (45 x 90) elementos de casca (SHELL 93) [18]. A Figura 6.14(a) mostra a junta T submetida a esforços axiais e transversais nas extremidades da chapa de aba. Considera-se em um modelo ideal uma chapa engastada na linha central, sendo uniformemente carregada em apenas uma de suas extremidades como na Figura 6.14(b):

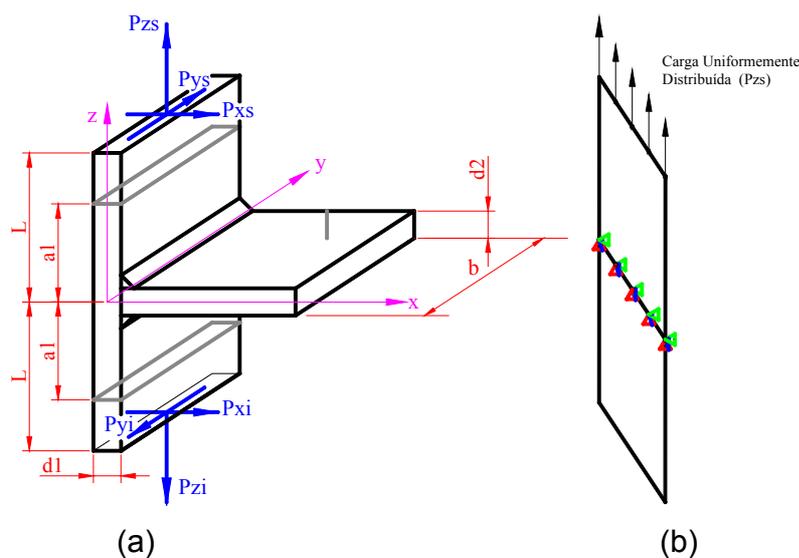


Figura 6.14 – (a) Modelo de uma Junta Soldada Submetida a Esforços Axiais e Transversais (b) e Carregamentos na Chapa de Aba

O resultado do dimensionamento do cordão ao longo do comprimento da junta é mostrado na Figura 6.15 obtido para os três modelos descritos. Para cada modelo foi verificado o dimensionamento do cordão (altura do cordão ao longo do comprimento da solda) resultante dos valores das tensões avaliadas a cinco distâncias do engaste: 1, 2, 4, 10 e 20 vezes a espessura da chapa de aba ($d1$) nas partes superior

e inferior ao engaste. Estes são comparados no gráfico com o resultado fornecido pelo método analítico e estão representados pelas seções A, B, C, D e E, respectivamente. Os resultados do dimensionamento do cordão para apenas uma metade da largura da chapa são apresentados na Figura 6.15.

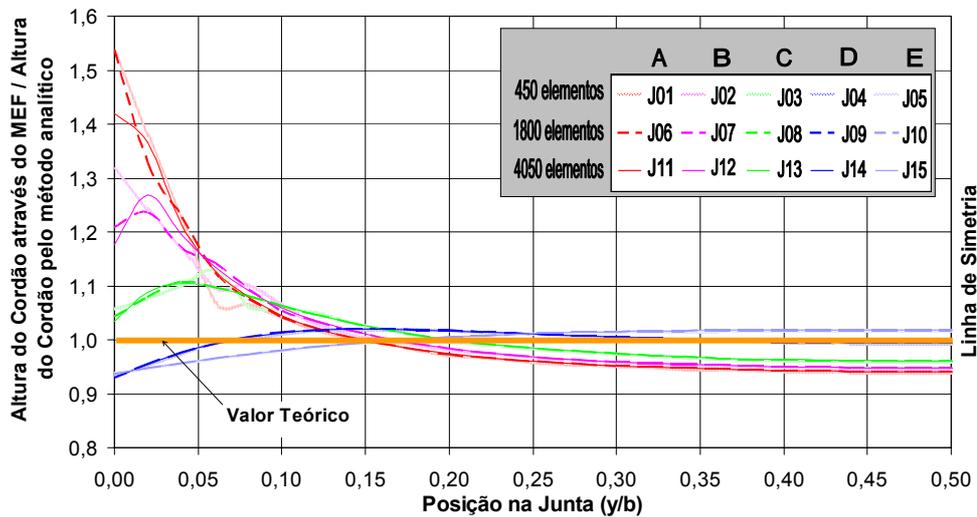


Figura 6.15 – Espessura do Cordão de Solda ao Longo da Junta (caso 4)

A distribuição das tensões normais de membrana (σ_{z0s}) ao longo das seções analisadas, mostrada na Figura 6.16, é semelhante àquelas obtidas para as tensões normais (σ_{x0}) na chapa de topo da Figura 6.4 anteriormente apresentadas na seção 6.1.1 (caso 1).

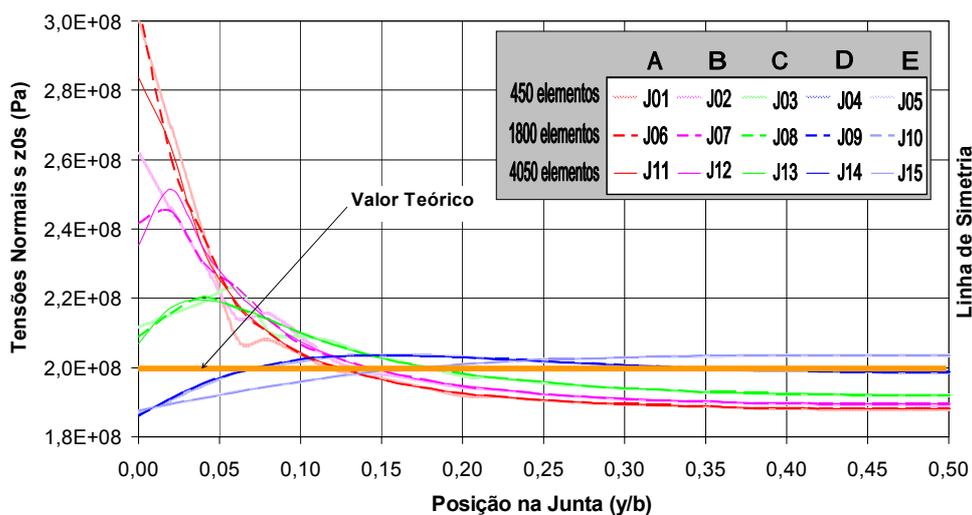


Figura 6.16 – Espessura do Cordão de Solda ao Longo da Junta

Testa-se adicionalmente a metodologia, para o modelo de 450 elementos, sendo a chapa de aba submetida a carregamentos axiais em ambas as extremidades. Verifica-se que os resultados obtidos para a espessura do cordão de solda ao longo da junta, apresentados na Figura 6.17, correspondem aos resultados obtidos com carregamento axial em apenas uma das extremidades.

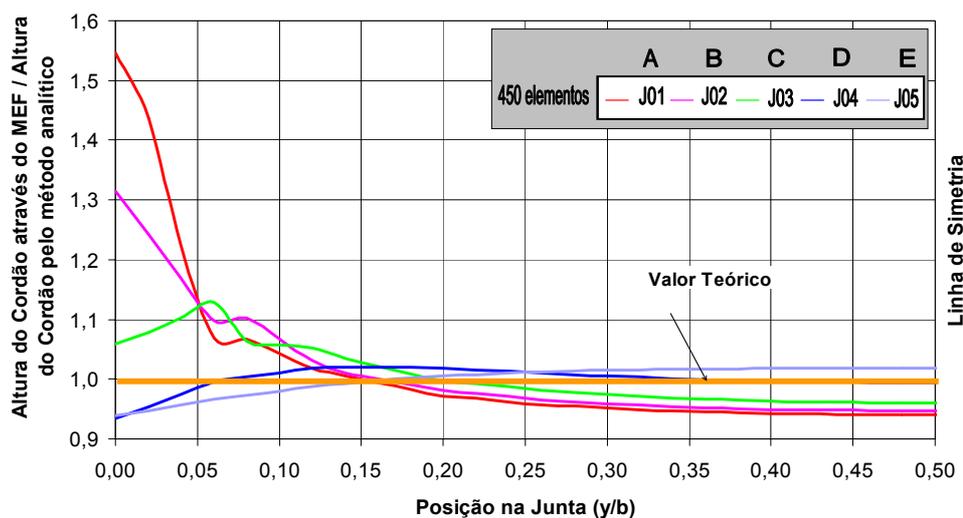


Figura 6.17 – Espessura do Cordão de Solda ao Longo da Junta

A seguir considera-se a excentricidade do carregamento axial na chapa de aba em relação ao posicionamento dos cordões. O dimensionamento de cordões de solda a partir das tensões na chapa de topo é função somente da espessura da chapa de topo - como mostrado nas equações (4.24) e (4.26) -, enquanto o dimensionamento de cordões a partir das tensões na chapa de aba é também função da espessura de ambas as chapas - equações (4.51) e (4.52). Esta diferença justifica a utilização dos dois métodos desenvolvidos, porque os resultados para as tensões dependem da posição relativa da junta em relação ao carregamento.

A influência da relação entre as espessuras da chapa de aba (d_1) e de topo (d_2) no dimensionamento do cordão é mostrada na Figura 6.18, utilizando-se valores analíticos. Não são observadas grandes alterações no dimensionamento quando a espessura da chapa de aba é menor do que a chapa de topo. No entanto, o mesmo não ocorre quando a chapa de aba é maior do que a da chapa de topo, requerendo neste

caso uma altura maior do cordão de solda, devido ao aumento da excentricidade do carregamento.

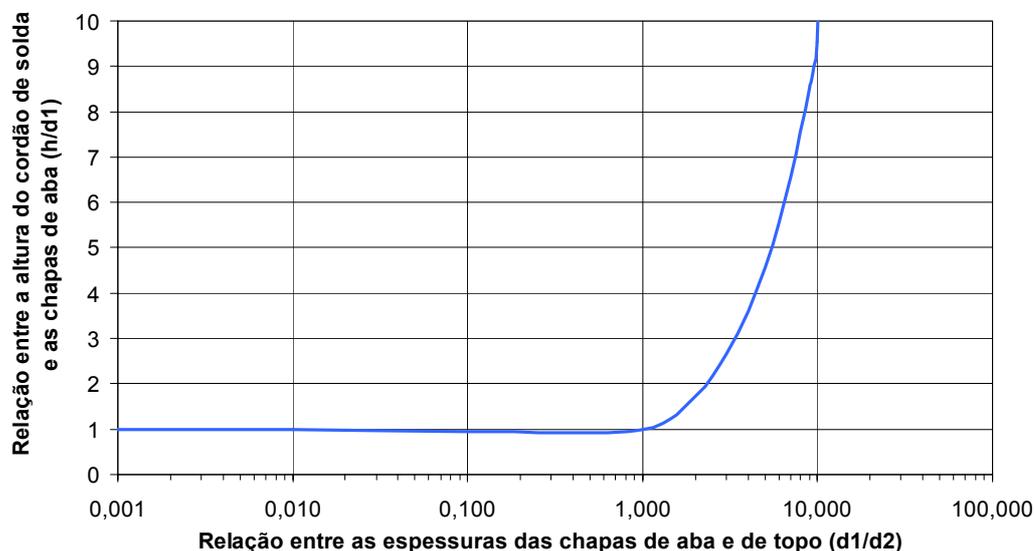


Figura 6.18 – Relação entre espessuras do cordão de soldas e espessuras das chapas

6.1.5.

Caso 5 - Chapa de Aba Submetida a Carregamento de Cisalhamento Paralelo à Direção da Junta (Pys e Pyi)

A chapa de aba considerada na análise anterior é agora submetida a um carregamento no sentido longitudinal à junta em suas extremidades. Esta configuração de carregamento é semelhante à modelada no caso 2, onde o carregamento transversal é aplicado na chapa de topo. Os resultados são mostrados na Figura 6.19, considerando-se as espessuras das chapas de aba e de topo iguais. Verificam-se aqui as mesmas diferenças observadas entre os resultados analíticos e aqueles obtidos através da análise numérica, provenientes da desigualdade entre os valores de tensão obtidos através dos dois métodos. Além disso, observa-se também a simetria no dimensionamento do cordão em oposição ao dimensionamento assimétrico obtido no caso 2, mostrado na Figura 6.7. Este fato se deve à posição dos cordões relativa ao carregamento. Na metodologia clássica, este caso de carregamento corresponde cordões de solda submetidos à torção, ao contrário do caso 2, que corresponde a cordões de solda submetidos à flexão e cisalhamento. Embora os resultados obtidos para os dois casos sejam semelhantes, mais uma vez mostra-se a

importância da investigação do estado de tensões, tanto na chapa de topo, quanto na chapa de aba.

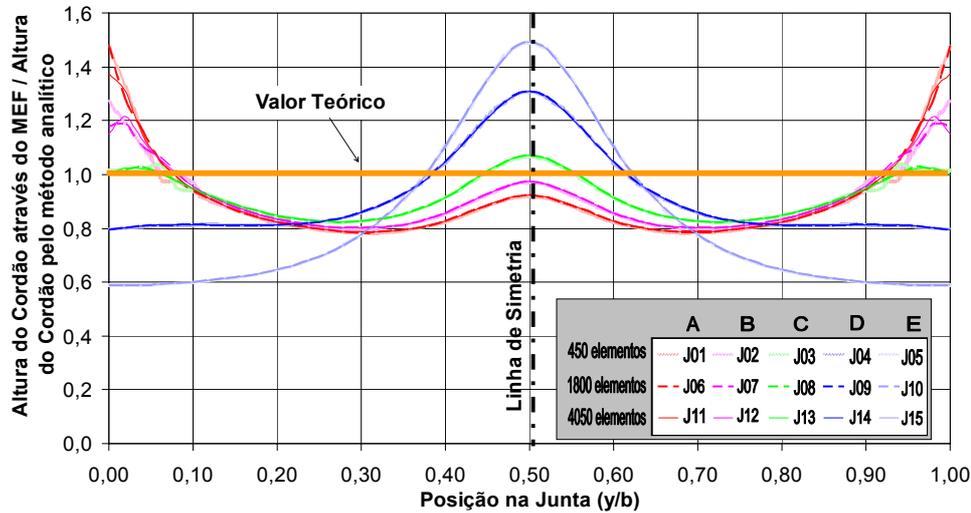


Figura 6.19 – Espessura do Cordão de Solda ao Longo da Junta (caso 5)

O dimensionamento do cordão para a chapa de aba submetida ao carregamento transversal nas duas extremidades em um modelo de elementos finitos com 450 elementos é mostrado a seguir na Figura 6.20. Observa-se que o dimensionamento para as diversas seções de tomadas de tensões é semelhante ao obtido carregando-se apenas uma das extremidades.

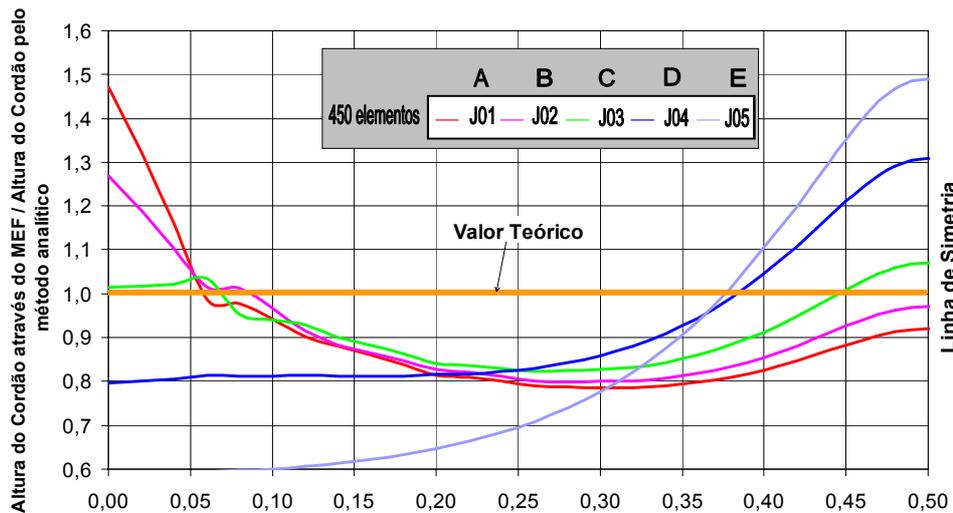


Figura 6.20 – Espessura do Cordão de Solda ao Longo da Junta

6.1.6.

Caso 6 - Chapa de Aba Submetida a Carregamento de Cisalhamento Transversal à Direção da Junta (Pxs e Pxi)

Finalmente, verifica-se o dimensionamento do cordão de solda para a chapa de aba submetida a carregamento de cisalhamento, transversal à direção da junta, mostrado na Figura 6.21. Assim como na Seção 6.1.3 - na verificação da metodologia para a chapa de topo submetida à carregamentos transversal - observa-se que o valor obtido para o dimensionamento do cordão na região do ponto médio da junta é maior do que o valor estimado através do cálculo analítico. Da mesma forma, comprova-se que o dimensionamento do cordão é sensível às tensões cisalhantes transversais. Com o aumento do coeficiente de afastamento, o valor das tensões cisalhantes medidos nas seções aproximam-se do valor teórico, e o dimensionamento do cordão também aproxima-se do valor obtido através do método analítico, como mostrado a seguir na Figura 6.21. Esta mesma tendência é observada para o dimensionamento dos pontos na extremidade da junta, onde os valores de tensão convergem para aqueles obtidos através do método analítico com o aumento do coeficiente de afastamento.

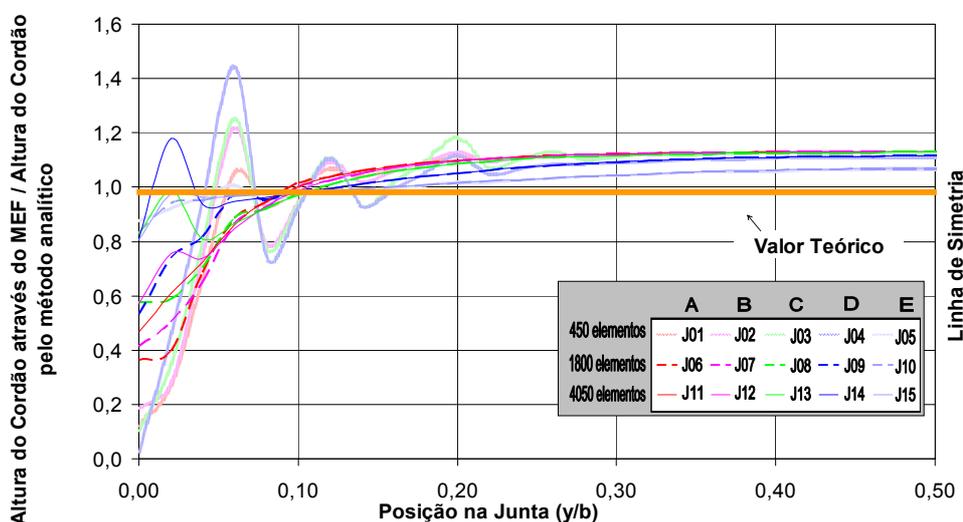


Figura 6.21 – Espessura do Cordão de Solda ao Longo da Junta (caso 6)

Na Figura 6.22 mostra-se o dimensionamento do cordão de solda em um modelo com 450 elementos, submetido à carregamentos transversais em ambas extremidades. Verifica-se que o dimensionamento é semelhante ao mostrado na

Figura 6.21, onde a chapa de aba é submetida somente ao carregamento transversal em apenas uma de suas extremidades.

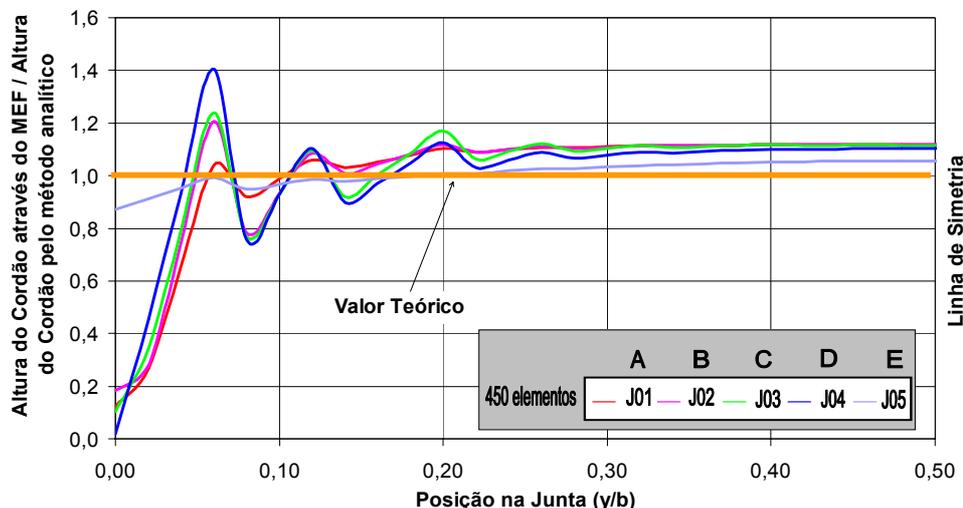


Figura 6.22 – Espessura do Cordão de Solda ao Longo da Junta

Das análises realizadas para a verificação da sensibilidade da distância da seção adjacente e do grau de refinamento da malha conclui-se que:

- Uniformes distribuições de tensões são obtidas ao longo das chapas para as mais distantes as seções adjacentes à junta e, de modo geral, o resultado do dimensionamento do cordão se aproxima do obtido através da metodologia tradicional;
- A metodologia proposta é pouco sensível ao grau de refinamento da malha, principalmente em seções mais afastadas do engaste (C, D, e E). Em seções próximas ao engaste (A e B), na regiões próximas às bardas das chapas, são observadas variações consideráveis no dimensionamento, em relação ao refino da malha;
- Para juntas submetidas a carregamentos transversais, onde se considera a flexão transversal no cordão igual à seção analisada, obtém-se dimensionamento abaixo do obtido através da metodologia tradicional para seções mais afastadas da junta (seções D e E);

- Configurações em que as chapas de aba possuem espessuras maiores do que as das chapas de topo promovem um aumento do efeito da excentricidade do carregamento axial nas chapas de aba em relação aos cordões.

6.2. Estudos de Caso: Comportas Hidráulicas

Dentre as diversas aplicações da metodologia proposta, destaca-se neste trabalho o dimensionamento dos cordões de solda nas juntas de comportas hidráulicas, submetidas tipicamente a carregamentos estáticos. Uma estrutura com esta complexidade possui normalmente um grande número de juntas, tornando-se difícil o estabelecimento da carga a que cada uma está individualmente submetida. Na prática, o dimensionamento dos cordões de solda se baseia nos valores estabelecidos pela norma, que relacionam as alturas do cordão com as espessuras das chapas que compõem as juntas. Esta prática pode elevar significativamente os custos do processo de soldagem, já que por motivo de segurança muitas vezes opta-se pelo dimensionamento com o valor máximo do cordão de solda estabelecido pela norma. Com isso, é possível que em uma estrutura obtenha-se uma elevada ocorrência de juntas com cordões superdimensionados, o que a metodologia proposta neste trabalho objetiva evitar. O estado de tensões obtido nas regiões adjacentes ao cordão pode revelar o carregamento a que cada junta é submetida, evitando-se o superdimensionamento do cordão em regiões de baixa transferência de carga. Por outro lado, assegura-se um dimensionamento adequado em juntas de maior importância estrutural.

As comportas hidráulicas são barreiras móveis que permitem o represamento de água com segurança e flexibilidade [20]. O dimensionamento estrutural se dá em função do carregamento hidrostático provocado pela altura de coluna d'água correspondente a gradientes de pressão atuando na face da estrutura. São diversos os tipos e aplicações de comportas hidráulicas. No estudo de caso a seguir consideramos o dimensionamento dos cordões de solda para dois tipos de comportas hidráulicas:

- Ensecadeira (ou “stop log”)
- Vagão (ou “fixed wheel gate”)

6.2.1. Comporta Hidráulica do Tipo Ensecadeira (“Stop Log”)

Comportas hidráulicas, do tipo ensecadeira, são utilizadas nas operações de manutenção e reparo em seco dos equipamentos ou comportas principais em uma hidrelétrica. São usualmente empregadas em estruturas à montante: de comportas de tomadas d’água, de vertedouros de grandes barragens; à montante e à jusante de comportas de vertedouros de barragens de pequena altura, ou de descarregadores de fundo, quando o nível d’água é mais elevado que a soleira da comporta; e à jusante das turbinas ou das comportas de emergência do tubo de sucção.

Um exemplo de comporta hidráulica do tipo “stop log” está mostrado na Figura 6.23. É aplicada uma pressão hidrostática na superfície maior, que aumenta linearmente com a profundidade. Neste caso, o gradiente de pressões negativo representa o sentido da aplicação da carga distribuída ao longo da superfície. A pressão é atuante na superfície oposta à mostrada na figura.

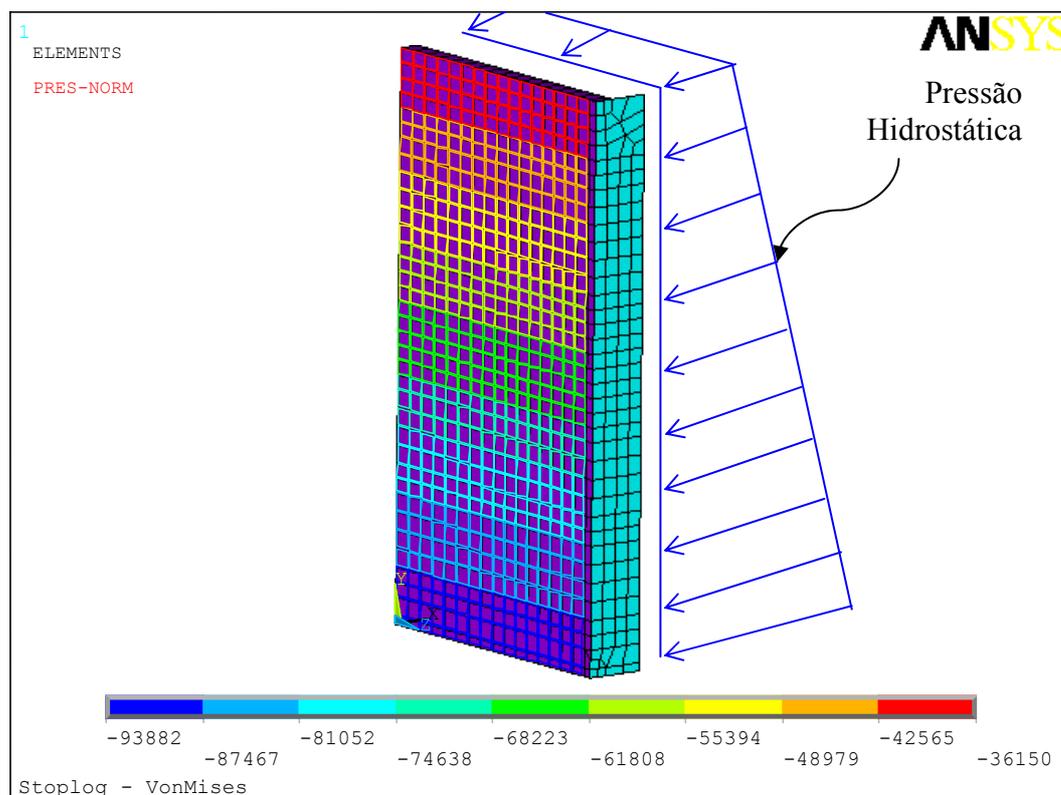


Figura 6.23 – Carregamentos Aplicados na Comporta Hidráulica do Tipo “Stop Log”

As condições de contorno do modelo são ilustradas na Figura 6.24. Na superfície à direita da figura são aplicadas restrições de deslocamento (azul claro) e de rotação (bege), revelando um plano de simetria no modelo representado. Outras restrições ao deslocamento são também aplicadas ao longo das bordas da estrutura, em regiões de apoio.

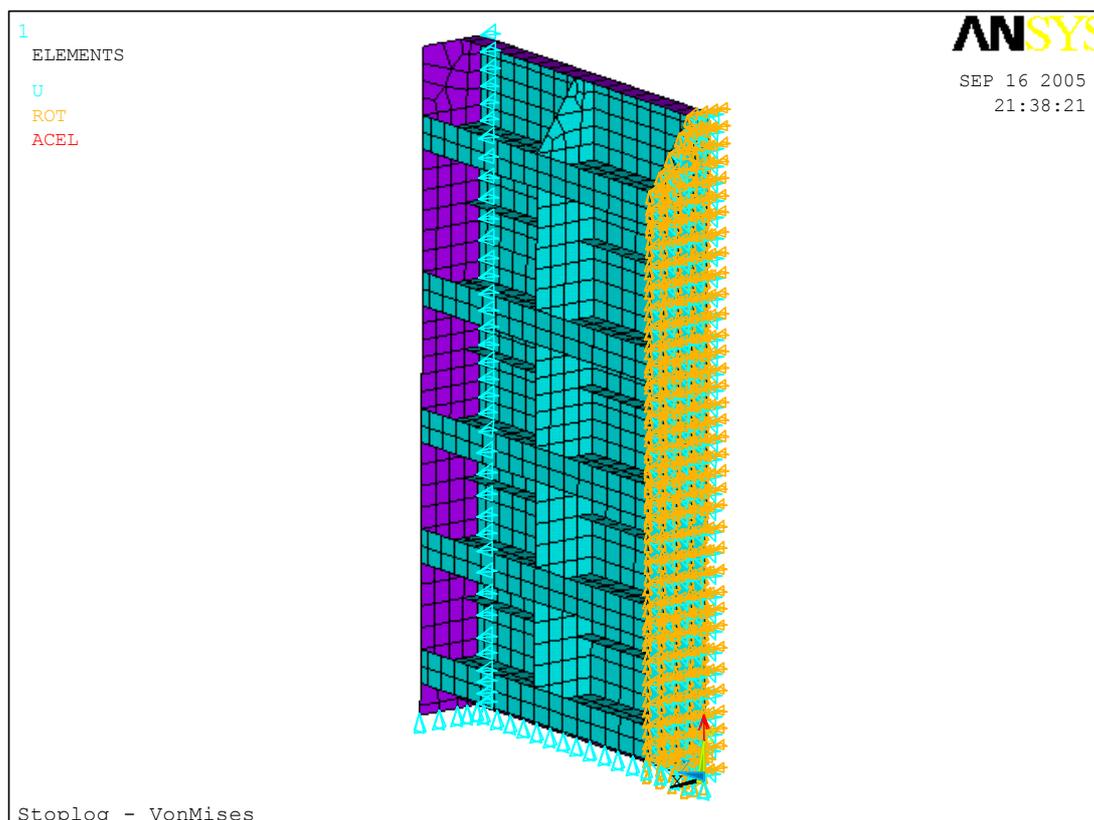


Figura 6.24 – Restrições Aplicadas na Comporta Hidráulica do Tipo “Stop Log”

Nesta seção propõe-se dimensionar os cordões das juntas soldadas. Cada junta é numerada e analisada de acordo com a metodologia proposta. A numeração das juntas é apresentada na Figura 6.25. Note-se que algumas juntas não possuem o formato “T” discutido, mas sim cruciformes ou em “L”. No caso das juntas em “L” apenas o dimensionamento através das tensões na chapa de topo será considerado. Por outro lado, as juntas cruciformes são analisadas de modo a incluir todas as chapas na investigação de tensões.

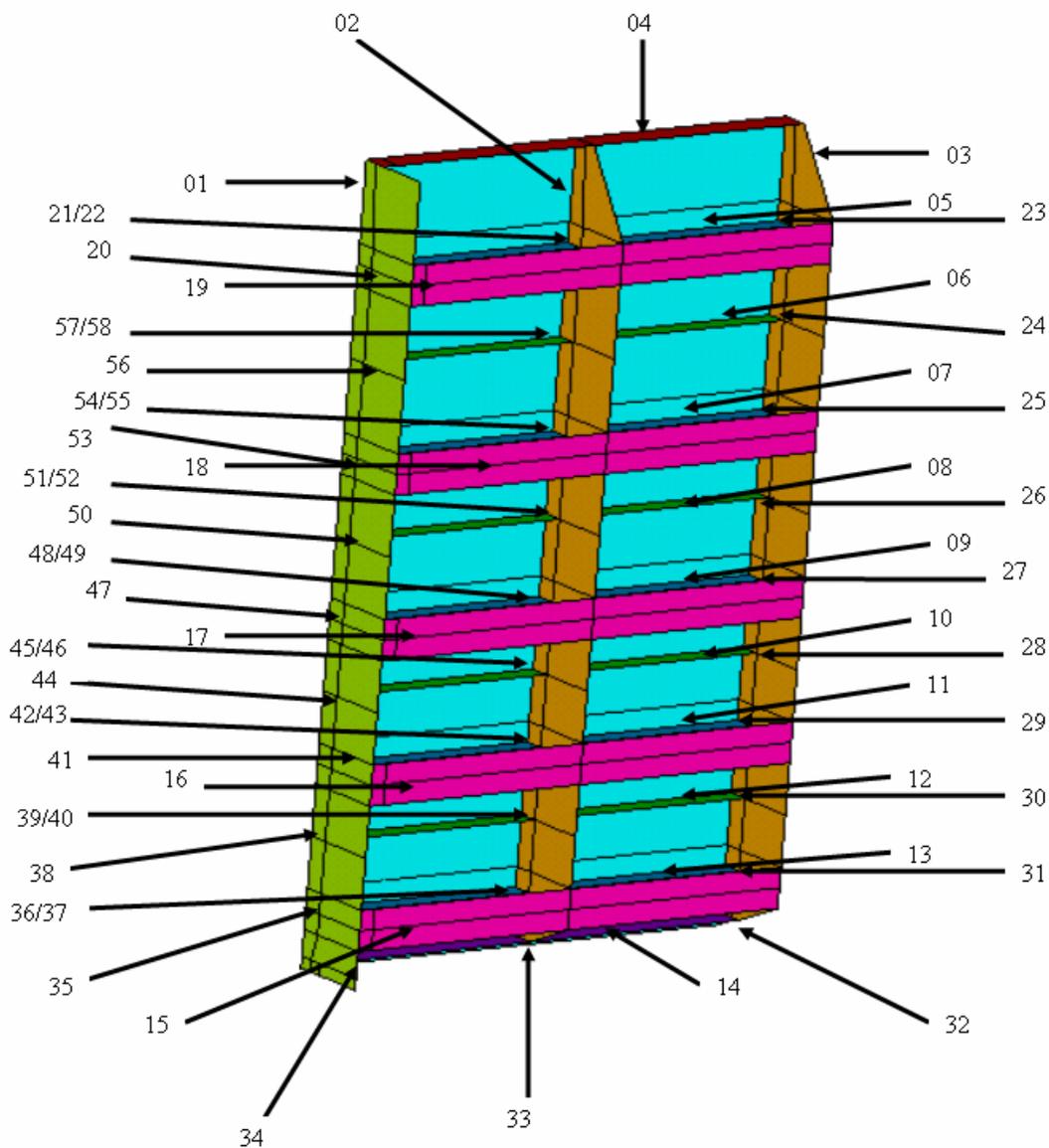


Figura 6.25 – Numeração de Juntas da Comporta Hidráulica “Stop Log”

A partir dos procedimentos estabelecidos no Capítulo 5, os valores das componentes de tensão nas seções adjacentes às juntas são extraídos. Um coeficiente de afastamento igual a 4 foi considerado nas duas situações: para as chapas de topo da estrutura e para as chapas de aba. A estrutura é composta por chapas de aço ASTM A-36, com boas características de soldabilidade, e cujo limite de escoamento mínimo é 250MPa. Na Figura 6.26 o detalhe da Junta 05 da comporta “Stop Log” é apresentado, em que é definido o sistema de referência local da junta, a chapa de aba e a chapa de topo. A junta é delimitada por três chapas transversais, sendo duas nas

extremidades e uma chapa no ponto médio ao longo do comprimento da junta. Neste caso estas delimitações definem a existência de duas juntas: uma na primeira metade e a outra na segunda metade. No entanto, para minimizar o número de análises a considerar, define-se esta como uma junta única apenas. No caso da diferença entre os valores obtidos para o dimensionamento do cordão ser relevante nas duas regiões, pode-se considerar uma altura de cordão de solda para cada região. Uma outra observação importante: é possível que pontos do "path" de leitura das tensões nas seções adjacentes, se posicionem exatamente na linha de interseção entre as chapas de topo ou de aba e a chapa transversal. Os resultados nestas regiões não são levados em consideração, sob a justificativa de que os valores numéricos carecem de significado físico.

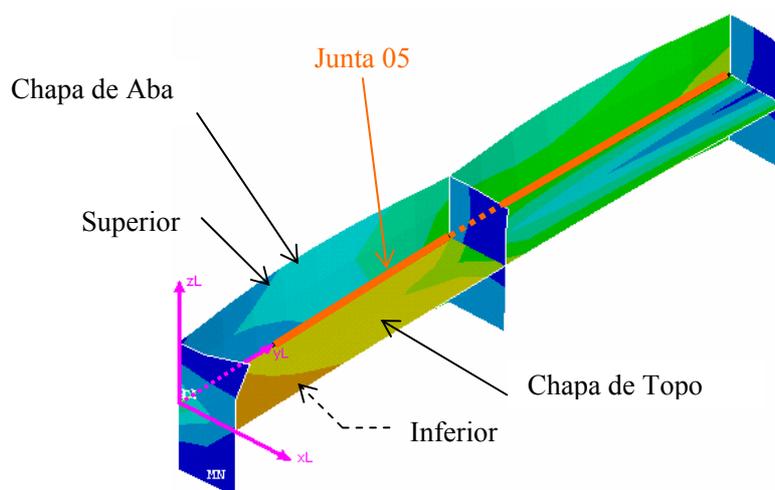


Figura 6.26 – Detalhe da Junta 05 da Comporta Hidráulica do Tipo “Stop Log”

A chapa de aba da junta 05 é submetida diretamente ao carregamento imposto pela pressão hidrostática, enquanto a chapa de topo da junta tem como função principal aumentar a inércia da estrutura para resistir aos esforços de flexão, uma vez que a distância entre os apoios da estrutura é considerável. Ambas as chapas possuem espessura de 3/8” (9,5mm).

Na Figura 6.27 as componentes das tensões obtidas nas seções adjacentes à junta são apresentadas para a junta 05, mostrada na Figura 6.26. As linhas em

vermelho na figura correspondem às componentes de tensão obtidas ao longo da seção adjacente à junta na chapa de topo. As linhas em azul e verde correspondem às componentes de tensão obtidas ao longo das seções (superior e inferior) adjacentes à junta na chapa de aba, respectivamente. Os maiores valores das componentes de tensão obtidos são devidos à flexão da chapa de aba (σ_{x1}). Como o carregamento aumenta com o aumento da profundidade, as tensões de flexão são maiores na parte inferior da chapa de aba. Nota-se adicionalmente, que a distribuição destas componentes de tensão decresce com a proximidade das chapas transversais, em razão do aumento de rigidez nestas regiões.

Os valores das máximas componentes de tensão obtidas na chapa de topo são de cisalhamento, transversais à chapa no sentido longitudinal à junta (τ_{xy}). Estas componentes refletem a influência da flexão segundo o eixo normal à placa que provoca esforços e reações cortantes entre as chapas de aba e de topo.

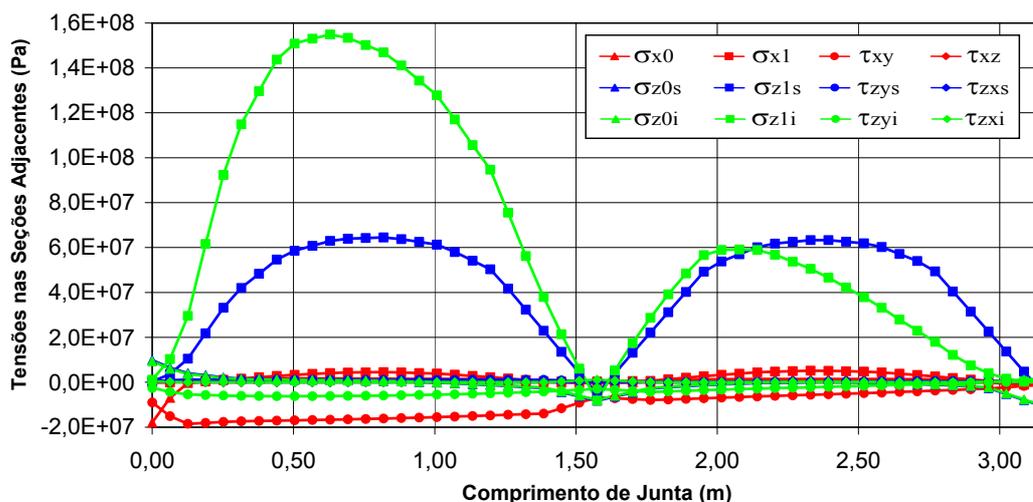


Figura 6.27 – Tensões Obtidas nas Seções Adjacentes à Junta 05

O dimensionamento do cordão ao longo da junta conforme pode ser comprovado na Figura 6.28, depende dos valores das tensões obtidos nas seções adjacentes. Desta forma, o dimensionamento utilizando as tensões na chapa de aba resulta em espessuras de cordão maiores do que o obtido utilizando as tensões na chapa de topo na maior parte do seu comprimento. A principal diferença entre os valores obtidos para o dimensionamento do cordão de solda nas chapas de aba e de topo, é que as seções analisadas na chapa de aba estão submetidas basicamente a

esforços de flexão de placa provenientes da pressão hidrostática incidente. Na chapa de topo, por outro lado, são predominantes os esforços cortantes devido à flexão segundo o eixo normal à placa.

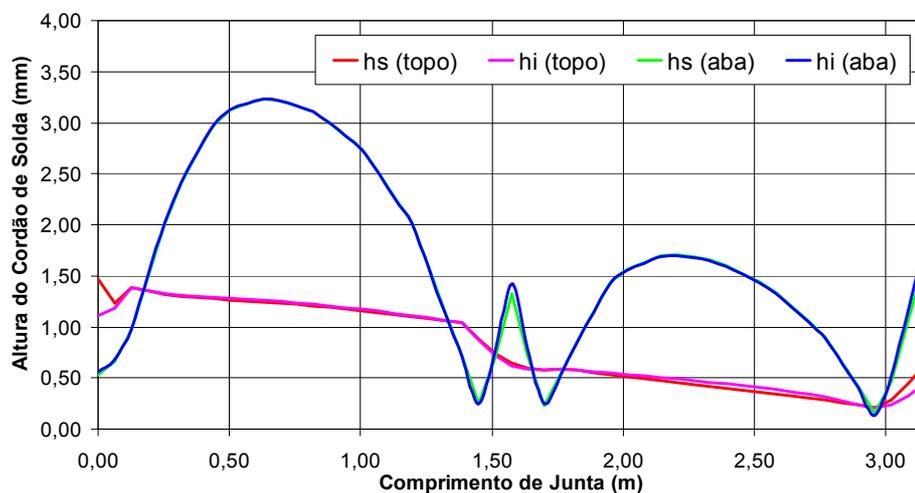


Figura 6.28 – Altura do Cordão de Solda ao Longo da Junta 05

A altura mínima teórica para o cordão é determinada a partir do valor máximo obtido ao longo da junta. São desprezados da avaliação os valores nos pontos de interseção da junta com a chapa transversal, quando necessário.

Na Tabela 6.1 são apresentados os valores de dimensionamento do cordão, para um coeficiente de segurança mínimo igual a 2. A primeira coluna enumera as juntas. A segunda coluna contém a descrição do tipo de junta: L (junta em “L”), T (junta em “T”) e X (junta cruciforme). O comprimento de cada junta é mostrado na terceira coluna, enquanto na quarta e quinta colunas são dadas as espessuras das chapas de aba e topo, respectivamente. Nas duas colunas seguintes, apresentam-se as alturas mínimas teóricas obtidas através do dimensionamento utilizando-se tensões na chapa de topo (método 1, □) e de aba (método 2, ■). As alturas mínimas (Δ) e máximas (▼) estabelecidas pelas normas AWS D1.1-81, [11], e AISC/LRFD, [19], são também mostradas.

A altura de cordão adotada é obtida, verificando-se os valores teóricos através dos métodos propostos, e comparando-os valores mínimos e máximos estabelecidos por norma. Na última coluna da tabela estão indicados por símbolos (□, ■, Δ e ▼) os critérios que resultaram no dimensionamento do cordão de cada junta.

Junta	Tipo*	Largura (mm)	Espessura da chapa (mm)		Altura teórica (mm)**		Altura Norma (mm)		Altura Adotada	Critério
			Aba	Topo	Mét. 1 □	Mét. 2 ■	Min. △	Máx. ▼		
01	L	5885	15,9	9,5	5,7	-	4,8	7,9	6,0	□
02	T	5800	9,5	9,5	3,7	9,7	4,8	7,9	7,0	▼
03	L	5800	4,8	9,5	4,0	-	3,2	7,9	4,0	□
04	L	3149	9,5	9,5	1,0	-	4,8	7,9	5,0	△
05	T	3149	9,5	9,5	1,4	3,2	4,8	7,9	5,0	△
06	T	3149	9,5	9,5	0,7	2,1	4,8	7,9	5,0	△
07	T	3149	9,5	9,5	1,5	3,0	4,8	7,9	5,0	△
08	T	3149	9,5	9,5	0,7	1,8	4,8	7,9	5,0	△
09	T	3149	9,5	9,5	1,5	2,8	4,8	7,9	5,0	△
10	T	3149	9,5	9,5	0,7	1,2	4,8	7,9	5,0	△
11	T	3149	9,5	9,5	1,7	2,6	4,8	7,9	5,0	△
12	T	3149	9,5	9,5	0,9	1,5	4,8	7,9	5,0	△
13	T	3149	9,5	9,5	1,8	0,9	4,8	7,9	5,0	△
14	L	3149	9,5	9,5	3,3	2,0	4,8	7,9	5,0	△
15	T	3149	9,5	9,5	1,4	1,2	4,8	7,9	5,0	△
16	T	3149	9,5	9,5	1,3	1,0	4,8	7,9	5,0	△
17	T	3149	9,5	9,5	1,2	1,0	4,8	7,9	5,0	△
18	T	3149	9,5	9,5	1,1	0,9	4,8	7,9	5,0	△
19	T	3149	9,5	9,5	1,1	1,3	4,8	7,9	5,0	△
20	T	600	15,9	9,5	2,1	4,7	4,8	7,9	5,0	△
21	X	600	9,5	9,5	7,0	2,9	4,8	7,9	7,0	□
22	X	600	9,5	9,5	4,9	0,6	4,8	7,9	5,0	△
23	T	600	4,8	9,5	5,1	0,3	3,2	6,4	6,0	□
24	T	150	4,8	9,5	1,4	0,1	3,2	6,4	4,0	△
25	T	600	4,8	9,5	5,4	0,2	3,2	6,4	6,0	□
26	T	150	4,8	9,5	1,6	0,2	3,2	6,4	4,0	△
27	T	600	4,8	9,5	5,8	0,2	3,2	6,4	6,0	□
28	T	150	4,8	9,5	1,9	0,2	3,2	6,4	4,0	△
29	T	600	4,8	9,5	6,3	0,2	3,2	6,4	6,0	□
30	T	150	4,8	9,5	2,0	0,2	3,2	6,4	4,0	△
31	T	600	4,8	9,5	7,0	0,4	3,2	6,4	6,0	▼
32	T	200	4,8	12,7	6,6	0,9	3,2	6,4	6,0	▼
33	T	200	9,5	9,5	1,4	4,2	4,8	7,9	5,0	△
34	T	200	15,9	15,9	2,6	3,5	6,4	14,3	7,0	△
35	T	600	15,9	9,5	2,8	2,5	4,8	7,9	5,0	△
36	X	600	9,5	9,5	6,4	0,5	4,8	7,9	7,0	□
37	X	600	9,5	9,5	6,7	1,7	4,8	7,9	7,0	□
38	T	150	15,9	15,9	2,2	2,2	6,4	14,3	7,0	△
39	X	150	9,5	9,5	2,7	0,9	4,8	7,9	5,0	△
40	X	150	9,5	9,5	2,8	0,4	4,8	7,9	5,0	△
41	T	600	15,9	9,5	2,6	2,4	4,8	7,9	5,0	△
42	X	600	9,5	9,5	5,8	0,6	4,8	7,9	6,0	□
43	X	600	9,5	9,5	6,1	0,7	4,8	7,9	7,0	□
44	T	150	15,9	15,9	1,9	2,0	6,4	14,3	7,0	△
45	X	150	9,5	9,5	2,3	0,4	4,8	7,9	5,0	△

Tabela 6.1 – Resumo dos valores obtidos para o dimensionamento dos cordões de solda – Estrutura “Stop Log”.

* Tipos de Junta: L(junta “L”), T(junta “T”) e X(cruciforme”)

** Método 1: dimensionamento através das tensões na chapa de topo; Método 2: dimensionamento através das tensões na chapa de aba

Junta	Tipo	Largura (mm)	Espessura da chapa (mm)		Altura teórica (mm)		Altura Norma (mm)		Altura Adotada	Critério
			Aba	Topo	Mét. 1 □	Mét. 2 ■	Min. △	Máx. ▼		
46	X	150	9,5	9,5	2,3	0,4	4,8	7,9	5,0	△
47	T	600	15,9	9,5	2,4	2,4	4,8	7,9	5,0	△
48	X	600	9,5	9,5	1,1	3,2	4,8	7,9	5,0	△
49	X	600	9,5	9,5	5,6	0,5	4,8	7,9	6,0	□
50	T	150	15,9	9,5	1,1	3,2	4,8	7,9	5,0	△
51	X	150	9,5	9,5	1,7	0,6	4,8	7,9	5,0	△
52	X	150	9,5	9,5	1,7	0,6	4,8	7,9	5,0	△
53	T	600	15,9	9,5	2,2	3,2	4,8	7,9	5,0	△
54	X	600	9,5	9,5	5,0	1,7	4,8	7,9	5,0	□
55	X	600	9,5	9,5	5,2	0,5	4,8	7,9	6,0	□
56	T	150	15,9	9,5	1,2	2,1	4,8	7,9	5,0	△
57	X	150	9,5	9,5	1,9	1,0	4,8	7,9	5,0	△
58	X	150	9,5	9,5	1,9	1,6	4,8	7,9	5,0	△

Tabela 6.1 (continuação) – Resumo dos valores obtidos para o dimensionamento dos cordões de solda – Estrutura “Stop Log”.

A Tabela 6.2 apresenta a distribuição percentual de ocorrência de cada valor (nominal) da altura do cordão segundo os critérios determinantes para o dimensionamento destas. 60% dos cordões foram dimensionados com altura de 5mm, todos pelo critério da altura mínima recomendada pela norma. Nestas juntas, as espessuras das chapas que as formam, são determinantes no dimensionamento do cordão de solda. Isto se deve aos baixos valores de tensão obtidos nas adjacências das juntas, revelando baixa transferência de carga entre as chapas.

Valor da Altura	Percentual de Ocorrência
4mm	9%
5mm	60%
6mm	17%
7mm	14%

Tabela 6.2 – Percentual de Ocorrência da Altura do Cordão

Da mesma forma, na Tabela 6.3 apresenta-se o percentual de incidência de cada método na definição da espessura do cordão. Da tabela observa-se que um grande número de cordões é dimensionado ou pelo critério da espessura mínima estabelecida por norma (71%) ou através da metodologia que utiliza os valores de tensão na chapa de topo (24%). Apenas as juntas 02, 31 e 32 da Figura 6.25 apresentaram valores para o dimensionamento acima dos valores máximos estabelecidos por norma.

Critério	Percentual de Ocorrência
Tensões obtidas na chapa de topo (Método 1)	24%
Tensões obtidas na chapa de aba (Método 2)	0%
Altura mínima recomendada pela norma	71%
Altura máxima recomendada pela norma	5%

Tabela 6.3 – Percentual de Incidência de cada Método na Definição da Espessura do cordão

A junta 02 é de grande importância estrutural, pois é formada pela junção da chapa de casca da comporta com a alma central que atravessa por toda a estrutura. É interessante notar na Figura 6.29 (onde a origem da junta é definida no topo da estrutura) que as tensões na chapa de aba (casca da comporta, denominada chapa de paramento) são maiores com a proximidade com o fundo - onde aumentam as cargas hidrostáticas na estrutura. Esta evidência se confirma ao observar-se o dimensionamento do cordão através das tensões na chapa de aba, como está mostrado na Figura 6.30. Nesta junta, ambas as chapas possuem espessura de 3/8”(9,5mm). A altura do cordão recomendável por norma deve ter um valor entre 4,8 e 7,9mm, delimitada entre as regiões em laranja e amarelo. Em apenas dois pontos ao longo do comprimento da junta a altura do cordão calculada através da metodologia proposta ultrapassa o valor máximo recomendado. Estes pontos estão em regiões onde a chapa de aba é submetida a tensões de membrana elevadas, devido a proximidade com as chapas transversais que transmitem carregamentos axiais à junta na chapa de aba.

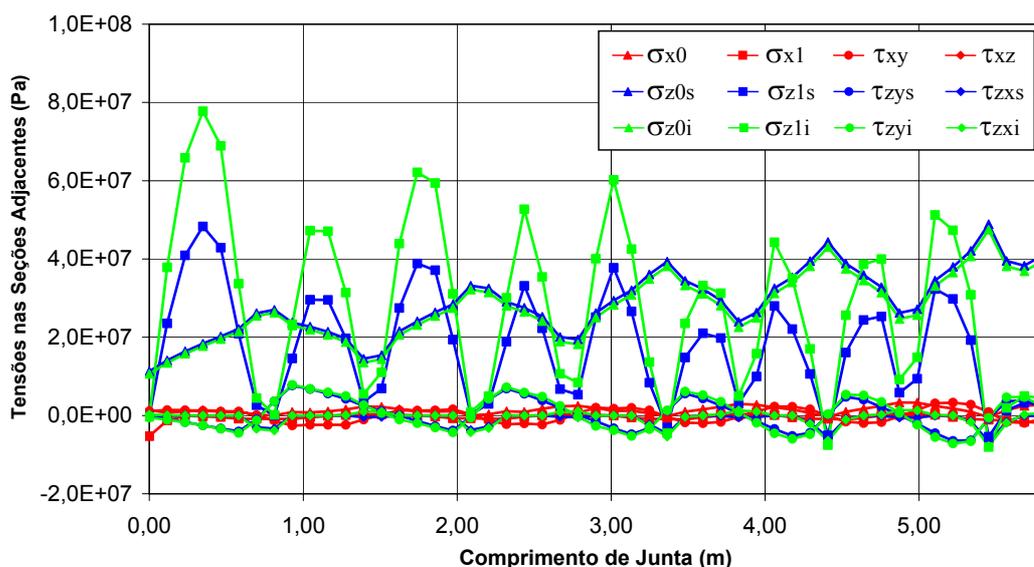


Figura 6.29 – Tensões Obtidas nas Seções Adjacentes à Junta

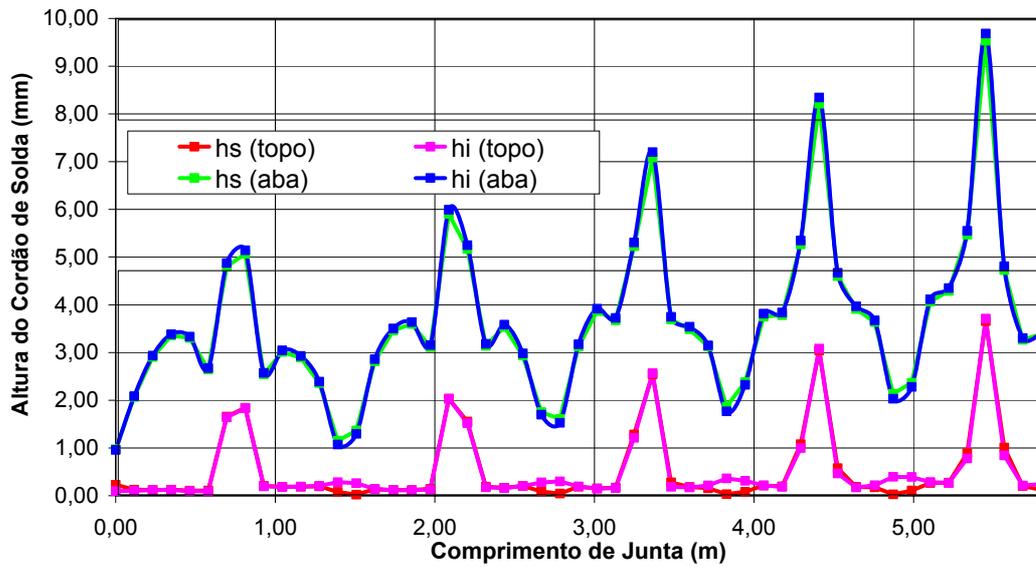


Figura 6.30 – Altura do Cordão de Solda ao Longo da Junta 05

As outras juntas, onde valores obtidos para o dimensionamento através da metodologia ultrapassam os recomendados por norma são as juntas 31 e 32, mostradas na Figura 6.31. Estas juntas são submetidas a valores elevados de tensão de membrana nas chapas de topo da junta, como é mostrado na Figura 6.32.

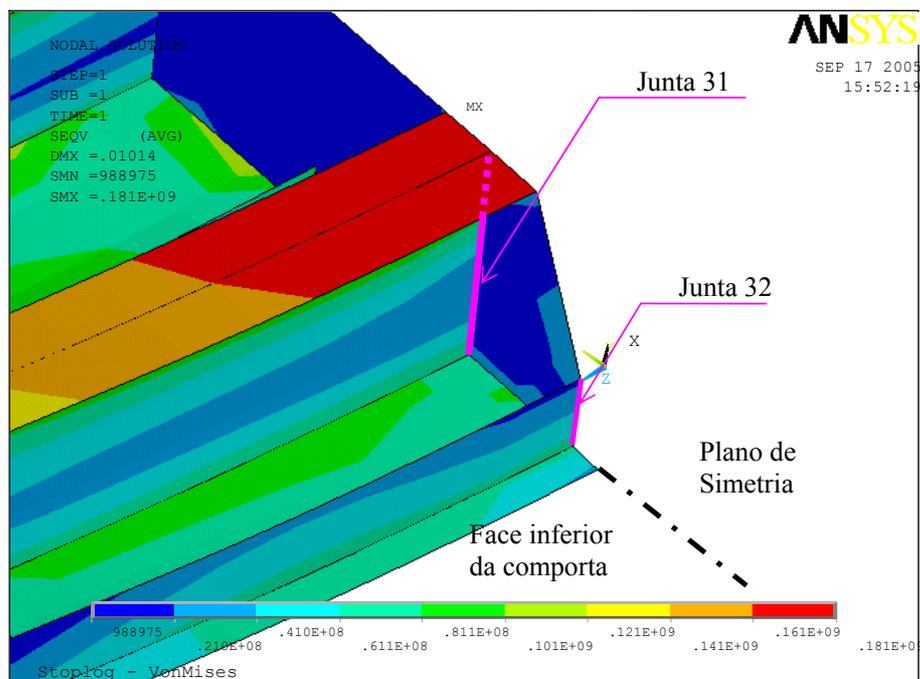


Figura 6.31 – Localização das Juntas 31 e 32 na estrutura

As juntas 31 e 32 estão localizadas na parte inferior da comporta, próximas do plano de simetria da estrutura, onde os esforços de flexão na estrutura são elevados. Porém, observa-se que os valores elevados para o dimensionamento dos cordões não ocorrem ao longo de toda junta, mas em uma região de aproximadamente 20mm em uma das extremidades da junta, como mostrado para a junta 31 na Figura 6.33. O dimensionamento abaixo do requerido através do cálculo implica em um pequeno aumento nas tensões na solda. Isto é aceitável pelo fato destas tensões ocorrerem em uma pequena região e por estarem abaixo do valor de escoamento do material.

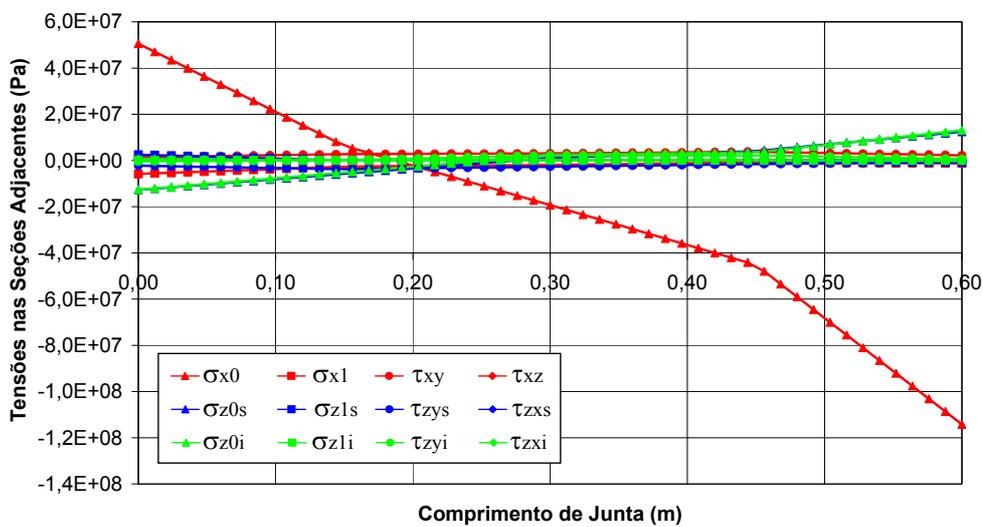


Figura 6.32 – Tensões Obtidas nas Seções Adjacentes à Junta 31

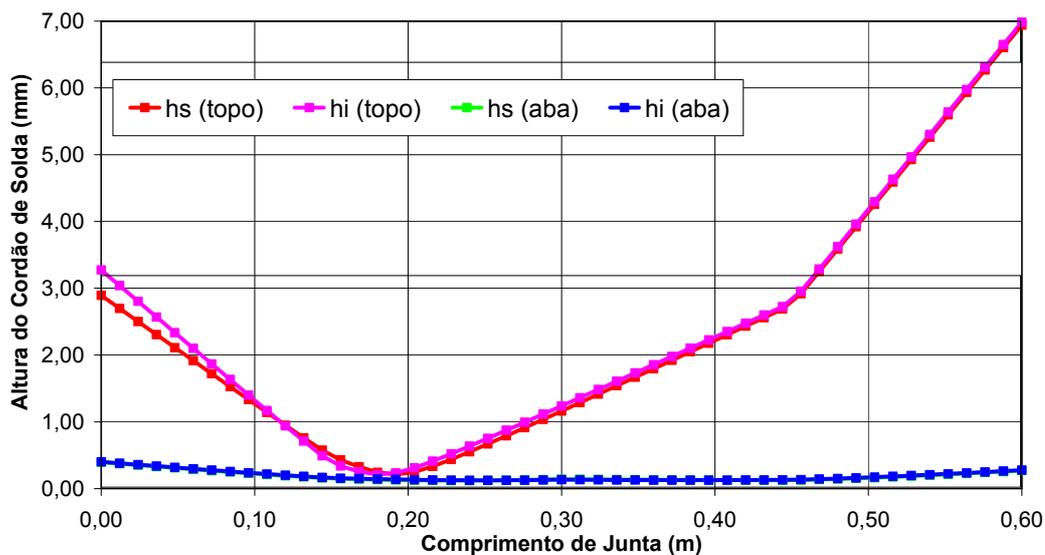


Figura 6.33 – Altura do Cordão de Solda ao Longo da Junta 31

No Apêndice A estão disponibilizados gráficos das tensões nas seções adjacentes das chapas de aba e topo e dos valores calculados para as alturas dos cordões ao longo da junta em uma coletânea com as dez juntas mais críticas analisadas.

6.2.2. Comporta Hidráulica do Tipo Vagão (Fixed Wheel Gate)

Comporta hidráulica do tipo vagão é o tipo de estrutura mais utilizado em hidrelétricas e barragens e eclusas, já que sua principal aplicação é feita em instalações que necessitam de elementos de proteção que sejam capazes de fechar por peso próprio. Constitui-se de tabuleiro, eixos, rodas e vedações. O tabuleiro é formado por uma chapa de paramento (casca), geralmente plana, reforçada por vigas horizontais e nervuras. Em cada lado do tabuleiro as extremidades das vigas horizontais são soldadas a uma viga vertical (cabeceira). As rodas são montadas em eixos fixados lateralmente no tabuleiro, sobre as vigas de cabeceiras, e têm dupla função de diminuir os esforços de atrito e de transmissão de cargas às peças fixas e ao concreto.

Um exemplo de comporta hidráulica do tipo “fixed wheel gate” está mostrado na Figura 6.34. É aplicada uma pressão hidrostática na superfície maior, que aumenta linearmente com a profundidade. Neste caso, o gradiente de pressões é atuante na superfície mostrada na figura.

As condições de contorno do modelo são ilustradas na Figura 6.35. Na superfície à direita da figura são aplicadas restrições de deslocamento (azul claro) e de rotação (bege), revelando um plano de simetria no modelo representado. Outras restrições ao deslocamento são também aplicadas ao longo das bordas da estrutura, em regiões de apoio.

A Figura 6.36 mostra o esquema de numeração da comporta tipo vagão. Devido à condição de simetria do problema, o modelo em elementos finitos representa apenas a metade da estrutura.

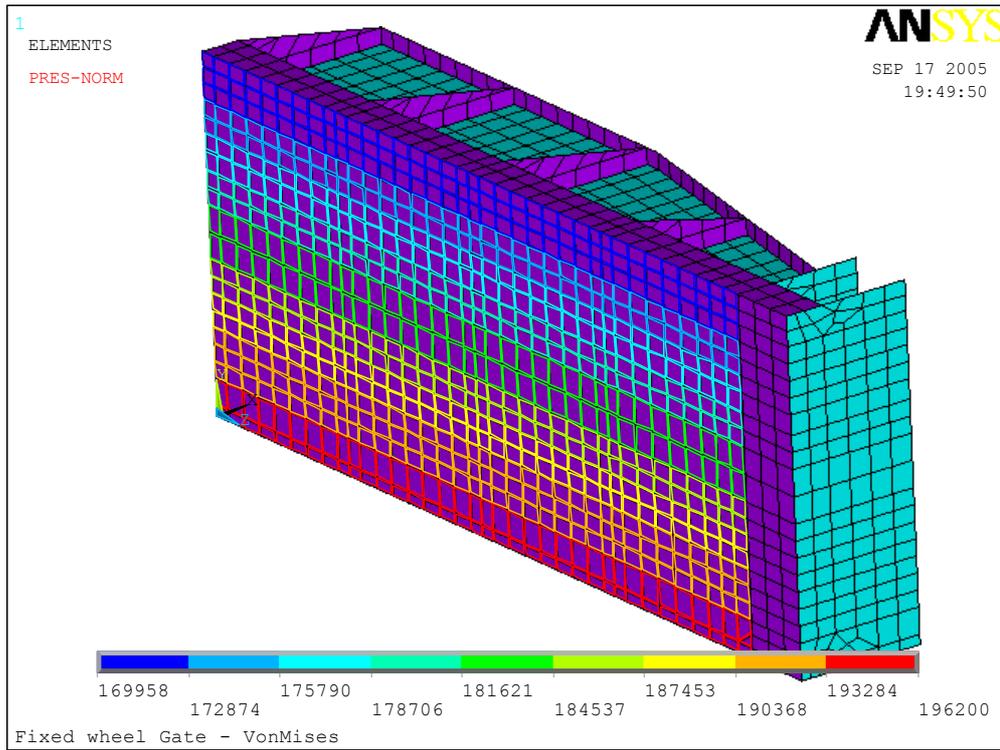


Figura 6.34 – Carregamentos Aplicados na Comporta Hidráulica do Tipo “Fixed Wheel Gate”

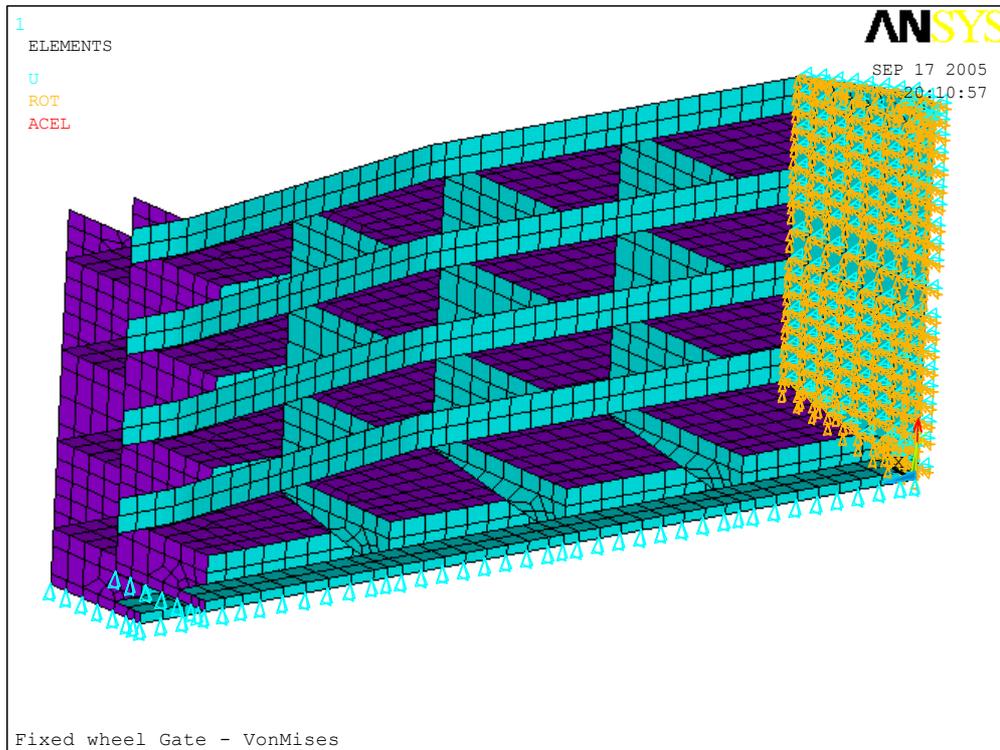


Figura 6.35 – Restrições Aplicadas na Comporta Hidráulica do Tipo “Fixed Wheel Gate”

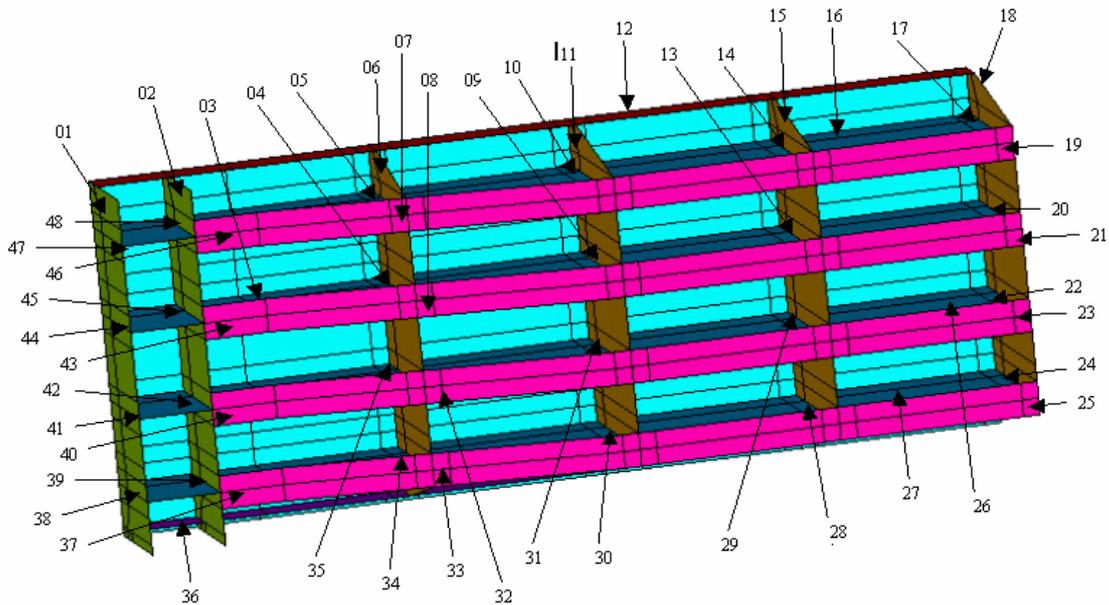


Figura 6.36 – Comporta hidráulica do tipo vagão ou “fixed wheel gate”

Analogamente ao caso da comporta do tipo “stop log”, são mostradas na Tabela 6.4 os valores obtidos para o dimensionamento dos cordões de solda através da avaliação das tensões nas seções adjacentes à junta para a comporta do tipo “fixed wheel gate”.

Junta	Tipo	Largura (mm)	Espessura da chapa (mm)		Altura teórica (mm)*		Altura Norma (mm)		Altura Adotada	Critério
			Aba	Topo	Mét. 1 □	Mét. 2 ■	Mín. △	Máx. ▼		
1	L	2675	22,2	15,8	7,7	-	6,4	14,2	8	□
2	T	2675	22,0	15,9	15,6	8,9	6,4	14,3	14	▼
3	T	6600	15,9	15,9	6,1	8,5	6,4	14,3	9	■
4	X	1219	9,5	15,9	5,7	3,0	4,8	7,9	6	□
5	X	1219	9,5	15,9	5,4	4,0	4,8	7,9	6	□
6	T	2600	9,5	15,9	3,0	9,0	4,8	7,9	8	▼
7	T	2500	15,9	25,4	4,9	3,9	6,4	14,3	7	△
8	T	2500	15,9	25,4	4,8	3,3	6,4	14,3	7	△
9	X	1500	9,5	15,9	6,0	1,2	4,8	7,9	6	□
10	X	1500	9,5	15,9	6,2	2,3	4,8	7,9	7	□
11	T	2600	9,5	15,9	1,8	6,6	4,8	7,9	7	■
12	L	6600	12,7	15,9	5,1	-	6,4	11,1	7	△
13	X	1500	9,5	15,9	7,2	0,5	4,8	7,9	8	□
14	X	1500	9,5	15,9	7,3	0,7	4,8	7,9	8	□
15	T	2600	9,5	15,9	1,3	4,1	4,8	7,9	5	△

Tabela 6.4 – Resumo dos valores obtidos para o dimensionamento dos cordões de solda – Estrutura “Fixed Wheel Gate”.

Junta	Tipo	Largura (mm)	Espessura da chapa (mm)		Altura teórica (mm)		Altura Norma (mm)		Altura Adotada	Critério
			Aba	Topo	Mét. 1 □	Mét. 2 ■	Min. △	Máx. ▽		
16	T	6600	15,9	15,9	4,5	7,5	6,4	14,3	8	■
17	T	1500	15,9	4,7	10,8	0,2	3,2	6,4	6	▽
18	L	2675	4,7	15,9	5,6	-	3,2	6,4	6	□
19	T	3000	15,9	25,4	2,2	5,3	6,4	14,3	7	△
20	T	1500	15,9	4,7	10,1	0,3	3,2	6,4	6	▽
21	T	3125	15,9	25,4	3,0	4,8	6,4	14,3	7	△
22	T	1500	15,9	4,7	10,2	0,4	3,2	6,4	6	▽
23	T	3125	15,9	25,4	4,5	5,7	6,4	14,3	7	△
24	T	1500	15,9	4,7	11,2	0,3	3,2	6,4	6	▽
25	T	3125	15,9	25,4	3,1	9,9	6,4	14,3	10	■
26	T	6600	15,9	15,9	3,4	7,0	6,4	14,3	7	■
27	T	6600	15,9	15,9	5,9	6,1	6,4	14,3	7	△
28	X	1500	15,9	9,5	12,2	0,8	4,8	7,9	8	▽
29	X	1500	15,9	9,5	12,2	0,8	4,8	7,9	8	▽
30	X	1500	15,9	9,5	6,3	1,3	4,8	7,9	7	□
31	X	1500	15,9	9,5	6,4	1,2	4,8	7,9	7	□
32	T	2500	15,9	25,4	5,1	5,2	6,4	14,3	7	△
33	T	2500	15,9	25,4	5,4	5,3	6,4	14,3	7	△
34	X	1219	15,9	9,5	9,3	1,7	4,8	7,9	8	▽
35	X	1219	15,9	9,5	9,2	0,7	4,8	7,9	8	▽
36	T	6600	12,7	15,9	4,1	3,4	6,4	11,1	7	△
37	T	475	15,9	25,4	5,4	5,2	6,4	14,3	7	△
38	T	1000	15,9	22,2	5,4	3,5	6,4	14,3	7	△
39	X	1000	15,9	22,2	5,6	9,6	6,4	14,3	10	■
40	T	475	15,9	25,4	5,1	5,5	6,4	14,3	7	△
41	T	1000	15,9	22,2	2,4	2,3	6,4	14,3	7	△
42	X	1000	15,9	22,2	4,9	2,8	6,4	14,3	7	△
43	T	475	15,9	25,4	5,1	5,0	6,4	14,3	7	△
44	T	1000	15,9	22,2	2,4	4,6	6,4	14,3	7	△
45	X	1000	15,9	22,2	4,8	3,3	6,4	14,3	7	△
46	T	805	15,9	25,4	4,9	3,1	6,4	14,3	7	△
47	T	1000	15,9	22,2	3,4	5,5	6,4	14,3	7	△
48	X	1000	15,9	22,2	4,8	4,9	6,4	14,3	7	△

Tabela 6.4 (continuação) – Resumo dos valores obtidos para o dimensionamento dos cordões de solda – Estrutura “Fixed Wheel Gate”.

A Tabela 6.5 apresenta a distribuição percentual de ocorrência de cada valor (nominal) da altura do cordão segundo os critérios determinantes para o dimensionamento destas. 90% dos cordões foram dimensionados com altura entre 6 e 8mm. A diferença entre os valores máximo e mínimo (14mm e 5mm, respectivamente) adotados para a altura do cordão evidencia a diferença entre a importância de algumas juntas na transmissão de carregamentos. Esta variação se deve também às diversas espessuras de chapa utilizadas nesta estrutura.

Valor da Altura	Percentual de Ocorrência
5mm	2%
6mm	21%
7mm	46%
8mm	23%
9mm	2%
10mm	4%
14mm	2%

Tabela 6.5 – Percentual de Ocorrência da Altura do Cordão

Na Tabela 6.6 apresenta-se o percentual de incidência de cada método na definição da espessura do cordão. Nesta estrutura nota-se uma divisão mais homogênea para os critérios de dimensionamento dos cordões do que a encontrada para a comporta do tipo “stop-log”: 46% dos cordões foram dimensionados pelo cordão mínimo admissível por norma e 21% pela espessura máxima. O restante é dimensionado pelos valores estabelecido pela metodologia proposta, sendo 21% pelas tensões na chapa de topo e 12% pelas tensões na chapa de aba. O elevado percentual de ocorrência de juntas cujo dimensionamento do cordão de solda é dado pela altura máxima recomendada pela norma se deve ao elevado valor de tensões encontrado nas chapas de topo destas juntas.

Critério	Percentual de Ocorrência
Tensões obtidas na chapa de topo (Método 1)	21%
Tensões obtidas na chapa de aba (Método 2)	12%
Altura mínima recomendada pela norma	46%
Altura máxima recomendada pela norma	21%

Tabela 6.6 – Percentual de Incidência de cada Método na Definição da Espessura do cordão

Uma das juntas com estas características é a junta 02, mostrada na Figura 6.37. As tensões obtidas nas seções adjacentes à junta são apresentadas Figura 6.38. Picos de tensões cisalhantes na chapa de topo (τ_{xy}) resultam no dimensionamento elevado do cordão de solda, em determinadas posições na junta, como mostrado na Figura 6.39, sempre em regiões nas junções com chapas transversais que dividem a junta. O dimensionamento adotado segundo a espessura máxima pela norma é

adequado pois nas regiões de pico o aumento de rigidez da estrutura não é modelado com fidelidade através de elementos de casca.

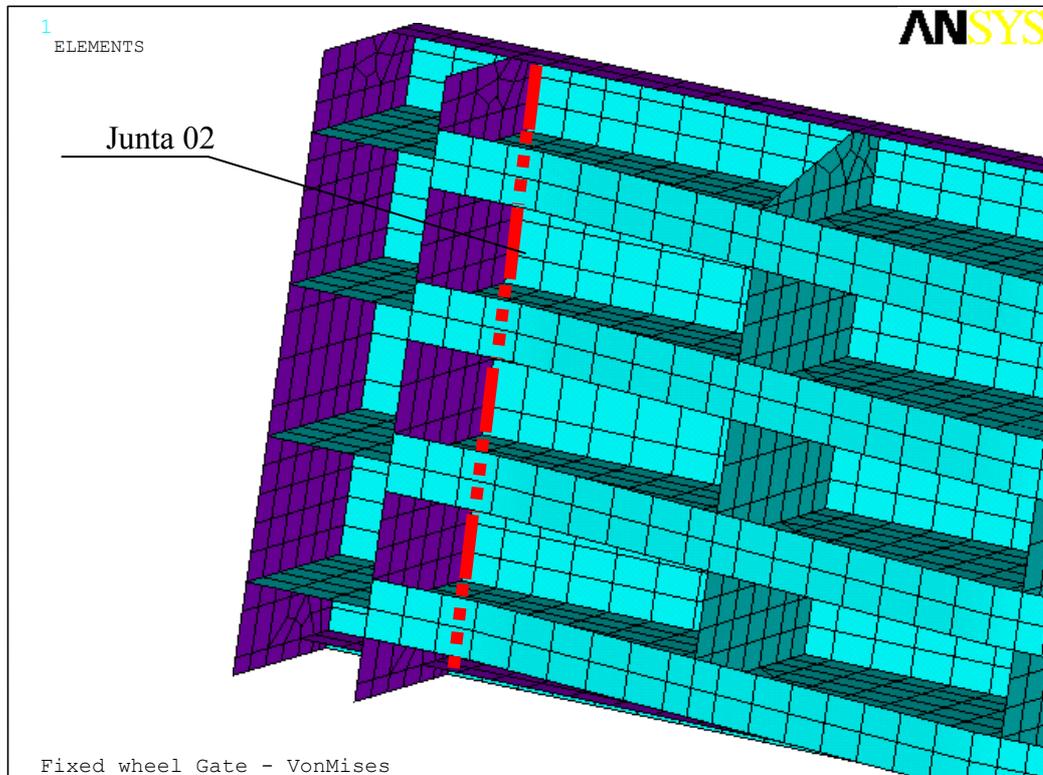


Figura 6.37 – Localização da Junta 02

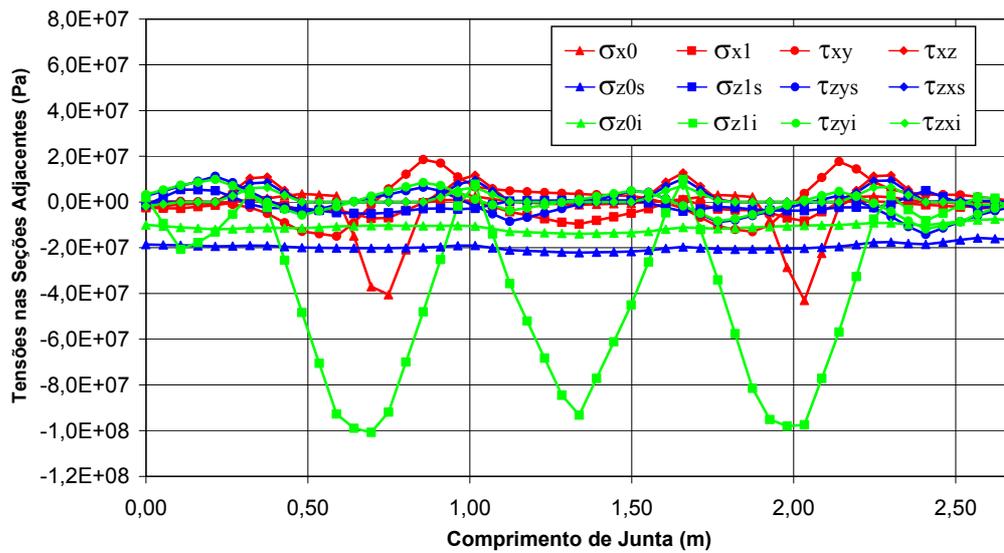


Figura 6.38 – Tensões Obtidas nas Seções Adjacentes à Junta 02

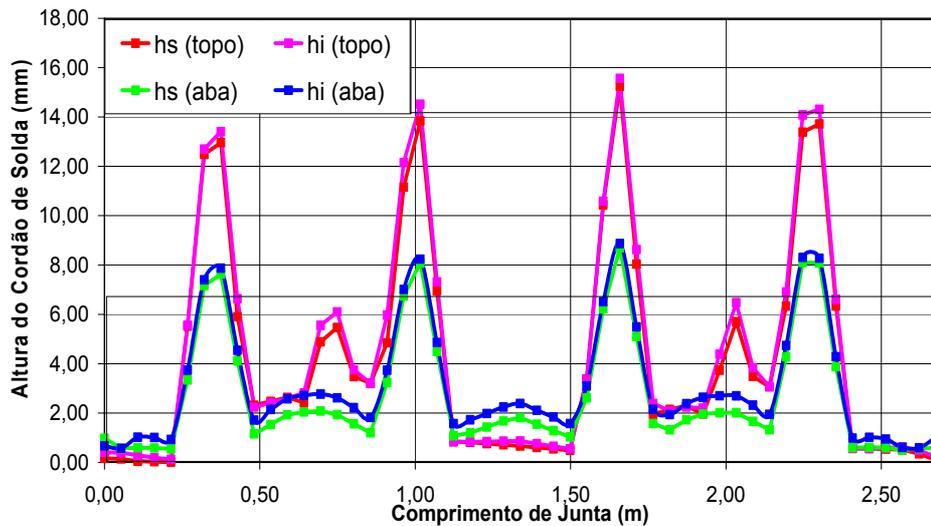


Figura 6.39 – Altura do Cordão de Solda ao Longo da Junta 02

A diferença entre os resultados obtidos nas duas estruturas analisadas se deve principalmente ao nível de solicitação a que estas são submetidas. A primeira estrutura, “stop-log”, é basicamente formada por chapas de 3/8” (9,5mm) com algumas de 5/8” (15,9mm), enquanto a segunda, “fixed wheel gate”, é formada por chapas mais espessas, com: 5/8” (15,9mm), 7/8” (22,5mm) e 1” (25,4mm) de espessura. Com isso, alturas maiores para os cordões são requeridas nesta segunda estrutura.

No Apêndice B, estão disponibilizados gráficos das tensões nas seções adjacentes das chapas de aba e topo e dos valores calculados para as alturas dos cordões ao longo da junta em uma coletânea com as dez juntas mais críticas analisadas.

No Capítulo 7, a seguir, apresentam-se as conclusões e comentários sobre a eficiência e limitações da formulação desenvolvida, assim como sugestões para futuros trabalhos nesta área.