

## 5 Implementação da Metodologia

A implementação da metodologia proposta no Capítulo 4 é possível devido ao importante avanço que os métodos numéricos e a capacidade de processamento computacional atuais têm permitido à análise estrutural, em especial o Método dos Elementos Finitos. A avaliação de tensões em estruturas com geometrias e carregamentos complexos é hoje uma prática rotineira de engenharia, em que diversos programas comerciais (ANSYS, ABACUS, por exemplo) apresentam eficiência e versatilidade na construção de modelos numéricos, no processamento numérico e na visualização de resultados por parte do usuário.

Estes códigos que utilizam o Método dos Elementos Finitos são geralmente, divididos em três módulos básicos: pré-processamento, processamento e pós-processamento. No módulo de pré-processamento, que inclui a modelagem do problema, são informados os dados geométricos da estrutura, as constantes do material, os tipos de elementos e a malha a ser utilizada. No módulo de processamento, são realizadas as operações numéricas a partir dos dados de entrada estabelecidos na fase de pré-processamento. No pós-processamento realiza-se a manipulação dos resultados a fim de obterem-se as informações relevantes para o dimensionamento, como o estado de tensões e deformações final do modelo pós ser submetido a um determinado nível de solicitações.

Neste capítulo descreve-se a implementação da metodologia proposta, essencialmente de pós-processamento. Utilizando-se dos resultados extraídos de estruturas modeladas através do programa ANSYS [18]. Discutem-se as técnicas de aquisição e de processamento dos resultados, além da aplicação de normas utilizadas na obtenção do dimensionamento do cordão de solda para cada junta.

## 5.1. Sistema Coordenado de Referência

Uma junta soldada formada por duas placas planas pode ser modelada utilizando-se, basicamente, formulações de dois elementos: de casca e sólido. Possíveis modelos para a representação de junta soldada são mostradas na Figura 5.1. A modelagem utilizando elementos sólidos, Figura 5.1(b), é a que melhor aproxima o comportamento real da estrutura. No entanto, a elevada quantidade de elementos e o grande número de graus-de-liberdade requeridos tornam o custo computacional da análise muito elevado comparativamente com o obtido com modelos de elementos de casca, mostrado na Figura 5.1(c). Normalmente em análises de chapas este tipo de elemento é o mais utilizado porque os esforços de membrana e de flexão são dominantes, como apresentado no Capítulo 2, utilizando um menor número variáveis de estado, em relação aos modelos de elementos sólidos.

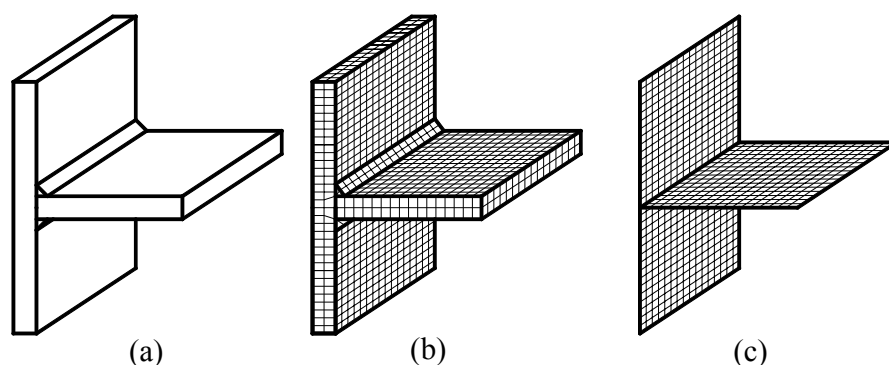


Figura 5.1 – Modelo de uma junta soldada: (a) Real; (b) Utilizando Elementos Sólidos; (c) Utilizando Elementos de Casca

Por outro lado, a utilização de elementos de placa na modelagem de uma junta soldada apresenta a desvantagem de não representar realisticamente a região de interseção das chapas porque os mecanismos de deformação disponíveis no modelo não são adequados. No caso de chapas espessas este problema se evidencia, porque a região ocupada por duas chapas é maior. Desta forma, o elemento de placa é mais usual para se representar estruturas compostas por chapas e a implementação apresentada nesta dissertação se baseia no processamento dos dados extraídos de modelos construídos unicamente com este tipo de elemento.

A formação na Figura 5.2 apresenta um exemplo de estrutura complexa formada por chapas soldadas em diversas juntas. Considerando-se o dimensionamento do cordão em todas as juntas da estrutura, torna-se necessário desenvolver-se uma metodologia que defina e ordene cada junta, de forma a permitir a extração de dados do ANSYS, disponíveis em arquivos de texto, de forma organizada e consistente. Coordenadas dos pontos-chave P, Q e  $Z_2$  de cada junta são obtidas, e servem de base para a definição do sistema de coordenadas local  $x_L$ - $y_L$ - $z_L$ , de cada junta, conforme mostrado na Figura 5.3. P e Q são os pontos correspondentes ao início e ao fim da junta, respectivamente. Estes pontos definem a direção correspondente ao eixo local  $\hat{y}_L$ . O ponto P é a origem do sistema coordenado local da junta. O ponto  $Z_2$  está contido no plano correspondente à chapa de topo. Os vetores unitários nas direções dos eixos  $\hat{z}_L$  e  $\hat{x}_L$  são obtidos através das seguintes operações:

$$\hat{z}_L = \frac{\overrightarrow{PZ_2} \times \overrightarrow{PQ}}{|\overrightarrow{PZ_2} \times \overrightarrow{PQ}|}; \hat{x}_L = \overrightarrow{PQ} \times \hat{z}_L \quad (5.1)$$

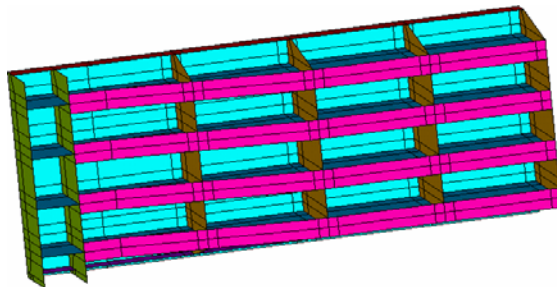


Figura 5.2 – Estrutura Complexa Formada por Diversas Juntas

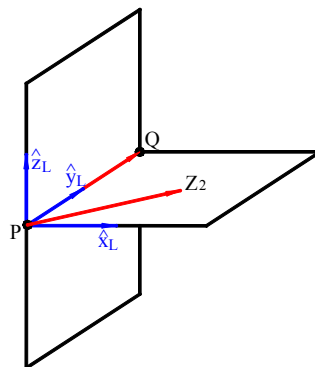


Figura 5.3 – Definição dos Eixos Coordenados a Partir dos Pontos (P, Q e  $Z_2$ )

A partir do sistema coordenado local em cada junta, identificam-se as espessuras das chapas que as compõem, importantes no dimensionamento do cordão. Para a identificação das espessuras das chapas em cada junta, desenvolveu-se um algoritmo cujos passos são os seguintes:

- 1º passo: Definem-se as coordenadas do ponto  $Z_1$ , ponto médio do segmento de reta formado pelos pontos  $Q$  e a extremidade de vetor unitário  $\hat{z}_L$ . Este ponto de referência está contido na superfície média da chapa 1; da mesma forma que o ponto  $Z_2$  (definido anteriormente) está contido na chapa 2, como mostrado na Figura 5.3.
- 2º passo: As coordenadas dos vértices de cada área e a espessura referente a esta área são extraídas de arquivos gerados pelo programa ANSYS: as listagens de áreas (ALIST.lis), pontos-chave (KLIST.lis), linhas(LLIST.lis) e constantes reais (RLIST.lis).

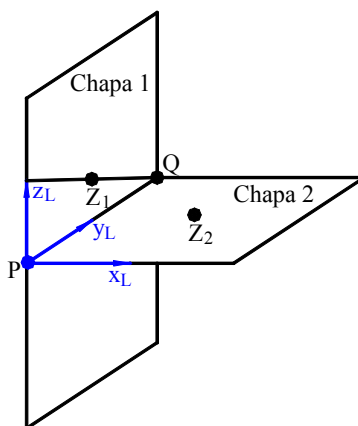


Figura 5.4 – Pontos de referência da chapa 1 ( $Z_1$ ) e da chapa 2 ( $Z_2$ )

- 3º passo: Os elementos são em geral quadriláteros, e podem ser divididos em dois triângulos, como mostrados abaixo na Figura 5.5. São calculadas as áreas de cada um dos dois triângulos. Juntamente com os pontos de referência  $Z_1$  e  $Z_2$  estas áreas formam tetraedros. Verifica-se se o ponto de referência pertence ou não à superfície comparando-se a área lateral do tetraedro com a área da base.

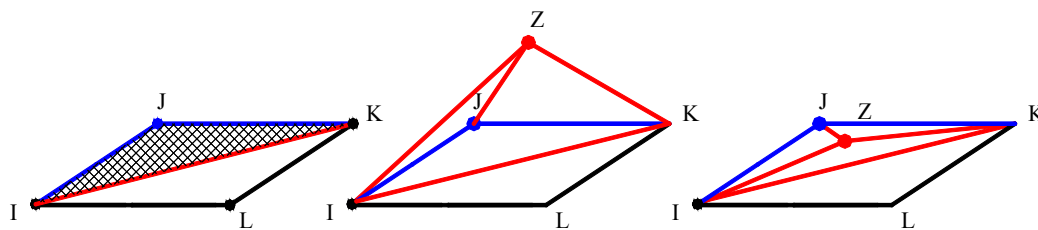


Figura 5.5 – Esquema de Verificação do Ponto de Referência em Relação ao Elemento

Propõe-se uma metodologia para a determinação das distâncias entre a junta e as seções adjacentes relacionando-se estas às espessuras das chapas que compõem a junta. Isto permite uma comparação e avaliação de resultados obtidos para o dimensionamento do cordão de solda ao longo da junta para diversas configurações de espessura, variando-se apenas um parâmetro, denominado coeficiente de afastamento. O coeficiente de afastamento da junta é definido como a relação entre a distância da seção adjacente à junta e a espessura da chapa analisada.

Esta relação é formulada nas equações (5.2) e mostrada na Figura 5.6, abaixo:

$$a_1 = \frac{d_2}{2} + ka_1 \cdot d_1 \quad ; \quad a_2 = \frac{d_1}{2} + ka_2 \cdot d_2 \quad (5.2)$$

onde  $d_1$  e  $d_2$  são, respectivamente, as espessuras da chapa de aba e de topo e  $ka_1$  e  $ka_2$ , os coeficientes de afastamento destas, respectivamente.

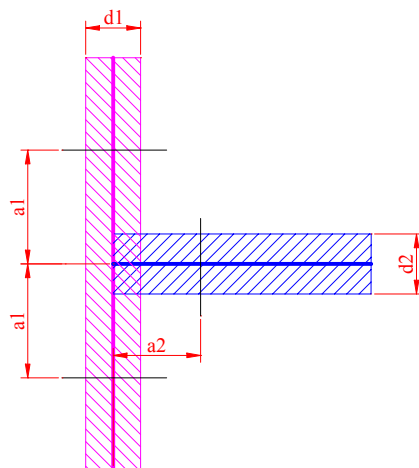


Figura 5.6 – Determinação das seções de leitura de tensões nas seções adjacentes às juntas

## 5.2. Leitura das Tensões nas Seções Adjacentes e Cálculo da Dimensão Teórica do Cordão de Solda

A formulação para o dimensionamento do cordão, descrita no Capítulo 4, utiliza os valores de tensão nas seções adjacentes à junta. Uma vez estabelecido o sistema de coordenadas local da junta, as espessuras das chapas e as distâncias das seções adjacentes à junta, os valores das componentes de tensão são adquiridos segundo a metodologia a seguir.

O módulo de pós-processamento do programa ANSYS permite a aquisição dos valores de tensão ao longo de “caminhos” (“paths”). Para utilizar-se esta facilidade, é necessário o estabelecimento das coordenadas iniciais e finais do “path”, além da definição do número de subdivisões desejado ao longo do seu comprimento. No caso de elementos de casca, é necessária a definição da superfície de leitura das tensões que podem ser a superfície inferior, média, ou superior. A leitura das tensões nas seções adjacentes à junta obedece a um único padrão porque as componentes de de tensão estão referenciadas ao sistema coordenado local da junta. Da incidência de cada elemento estabelecem-se as posições das superfícies superior e inferior da chapa. A Figura 5.7 apresenta, esquematicamente, os dados extraídos para cada ponto do “path” referente a cada junta. Os círculos indicam os pontos de avaliação de tensões. Na superfície superior de cada junta obtêm-se os valores de tensão devidos à flexão, enquanto os demais valores são lidos na superfície média.

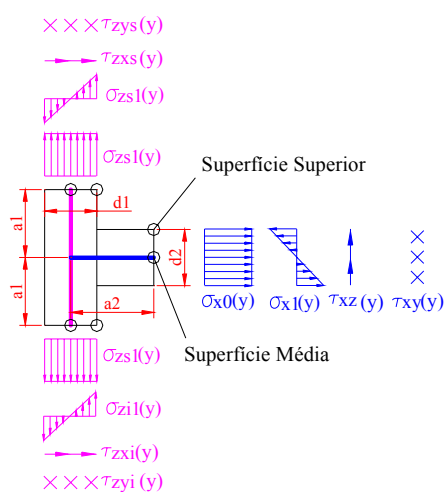


Figura 5.7 – Valores de tensão extraídos nas seções adjacentes

Assim, são necessários doze valores de tensão, para o possível dimensionamento da espessura do cordão de solda em cada ponto do “path” adjacente à junta, considerando-se os dois métodos desenvolvidos no capítulo anterior. A partir do estado de tensões obtido ao longo do “path”, obtém-se o dimensionamento do cordão, definido para cada ponto. Na Figura 5.8 é apresentado um exemplo dos valores para a espessura dos cordões superior e inferior ( $h_s$  e  $h_i$ ) obtidos ao longo do comprimento da junta considerando-se as tensões na chapa de topo e as tensões na chapa de aba. Pode se observar uma substancial variação na espessura calculada ao longo do comprimento da junta, considerando-se os resultados obtidos para as chapas de topo e de aba. No caso abaixo, picos de tensões na solução obtida através do Método dos Elementos Finitos são encontrados devido a presença de chapas ortogonais à junta, apresentando resultados conservativos. Adota-se neste trabalho como solução prática de engenharia, o cordão com espessura constante igual ao valor máximo obtido para o cordão de solda ao longo de toda a junta, desprezando-se os resultados obtidos nas regiões onde existe a presença destas chapas.

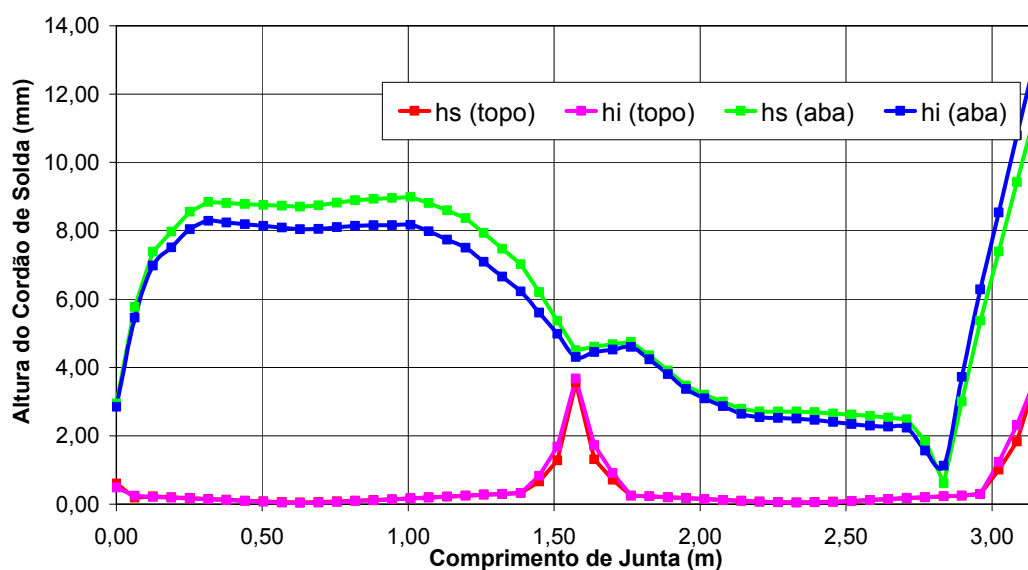


Figura 5.8 – Exemplo de variação da espessura do cordão calculada ao longo da junta

### 5.3. Dimensionamento a partir de regras estabelecidas pelas normas

Considerando-se os resultados obtidos com a presente metodologia para o dimensionamento do cordão de solda nas chapas que compõem a junta, algumas recomendações estabelecidas por normas devem ser também atentadas. Cordões cujos valores de espessura calculados são muito pequenos em relação à espessura das chapas indicam que a junta considerada não promove uma transmissão de elevada carga e, que devido às dimensões do eletrodo e da estrutura, implicam em valores mínimos para a dimensão do cordão. Por outro lado, valores calculados elevados da altura do cordão em relação à espessura podem indicar um dimensionamento acima da capacidade de transmissão das próprias chapas. Segundo as normas AWS D1.1-81, [11], e AISC/LRFD, [19], os valores máximos e mínimos recomendados para o cordão são definidos como na tabela abaixo:

<b>Espessura da chapa mais espessa da junta</b>	<b>Altura de Cordão Recomendada</b>
De 0 até 6,3mm	$3,2 \leq h \leq 6,4\text{mm}$
De 6,3 até 13,0mm	$4,8 \leq h \leq e - 1,6\text{mm}$
De 13,0 até 19,0mm	$6,4 \leq h \leq e - 1,6\text{mm}$
Maior do que 19,05mm	$8,0 \leq h \leq e - 1,6\text{mm}$

Tabela 5.1 – Valores máximos e mínimos recomendados pelas normas

onde  $e$  é a espessura da chapa mais espessa presente na junta.

No dimensionamento do cordão de solda, além das solicitações impostas pelos carregamentos a que junta é submetida, os valores máximos e mínimos recomendados por norma são também considerados.

No capítulo a seguir serão apresentados e discutidos os resultados para o dimensionamento de cordões de solda a partir de diversas análises, de acordo com a implementação proposta no presente capítulo.