

4532
Seminário de elementos finitos,

4 ANSYS User meeting. São Paulo, 14-15/10, 1992

IPEN-DOC-4532

COLEÇÃO PTC

DEVOLVER AO BALCÃO DE EMPRÉSTIMO

ANÁLISE TERMO-ESTRUTURAL DO SUPORTE
DO VASO DE PRESSÃO DE UM REATOR PWR

Julio Ricardo Barreto Cruz
Miguel Mattar Neto
Carlos Alexandre de J. Miranda

COPESP/IPEN-CNEN/SP
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, sala 221
CEP: 05508-900, Cid. Universitária, São Paulo-SP

SUMÁRIO

Descreve-se a análise da estrutura de suportaçãõ do vaso de pressãõ de um reator nuclear tipo PWR de pesquisa. Sãõ avaliadas algumas configurações para a suportaçãõ, considerando-se variações tanto na geometria como nas condições de contorno tãrmicas. As análises por elementos finitos sãõ realizadas com o programa ANSYS. A verificaçãõ de tensões é feita de acordo com o cõdigo ASME, Seçãõ III e os seguintes pontos sãõ discutidos: (a) classificaçãõ e linearizaçãõ de tensões; (b) interpretaçãõ dos limites de jurisdiçãõ entre a Subseçãõ NB (Componentes Classe 1) e a Subseçãõ NF (Suportes de Componentes) do ASME.

SUMMARY

The purpose of the paper is to present the stress analysis of a research PWR vessel support structure. Different geometries and thermal boundary conditions are evaluated. The finite element analysis is performed using ANSYS program. The ASME Section III criteria are applied for the stress verification and the following points are discussed: (a) stress classification and linearization; (b) jurisdictional boundary between ASME Subsection NB (Class 1 Components) and Subsection NF (Component Supports).

147

PTC nov 92

1. Introdução

A estrutura aqui analisada é constituída por uma saia soldada ao vaso na altura de seu flange inferior e seu projeto baseia-se fundamentalmente nos requisitos para atender às solicitações dinâmica e térmica. A avaliação da estrutura ao carregamento dinâmico foi feita através de análise espectral utilizando-se modelo de viga e os resultados indicaram ser necessária a utilização de uma saia bastante espessa, o que é inconveniente sob o ponto de vista térmico. O presente trabalho não traz detalhes da análise dinâmica, concentrando-se na apresentação do estudo termo-mecânico da suportaço.

A primeira configuração estudada é aquela mostrada na figura 1, que daqui em diante será chamada de concepção inicial. Nesta concepção a saia tem espessura constante e toda sua superfície externa é banhada por água (a 40°C). Um outro ponto a ser destacado (vide figura 2) é a existência de uma região onde há descontinuidade entre a saia e o depósito de solda feito no flange (a linha tracejada indica até onde vai a penetração da solda de ligação).

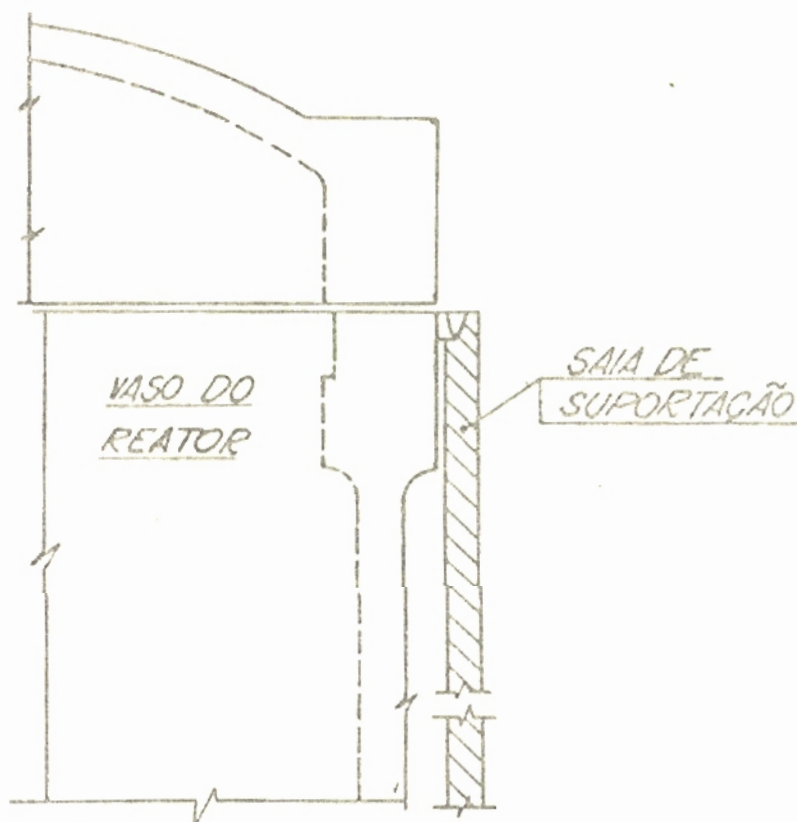


Figura 1- Saia de suportaço (concepção inicial)

A concepção inicial foi analisada considerando-se variações na geometria do detalhe de ligação do vaso à saia e diferentes condições de contorno térmicas. Os resultados obtidos nessa primeira etapa orientaram a incorporação de

algumas modificações na geometria da concepção inicial dando origem a uma nova geometria que daqui em diante será chamada de nova concepção (vide figura 3). Nesta nova concepção existe um trecho próximo à solda de ligação onde a saia tem sua espessura reduzida. Neste trecho a superfície externa da saia não entra em contato com a água e está prevista a utilização de um isolante térmico para minimizar a perda de calor. Uma outra diferença fundamental em relação ao projeto anterior é que a montagem é feita de tal forma que não haverá descontinuidade entre a solda e a saia.

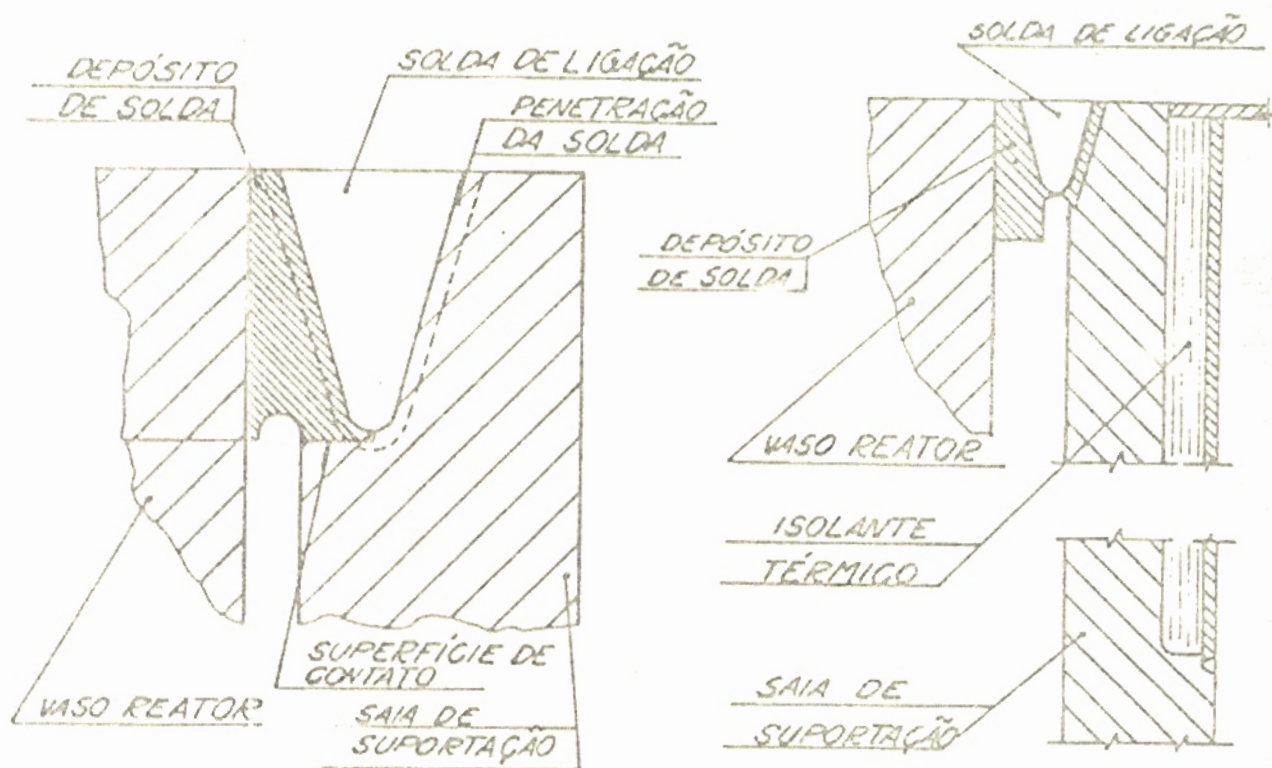
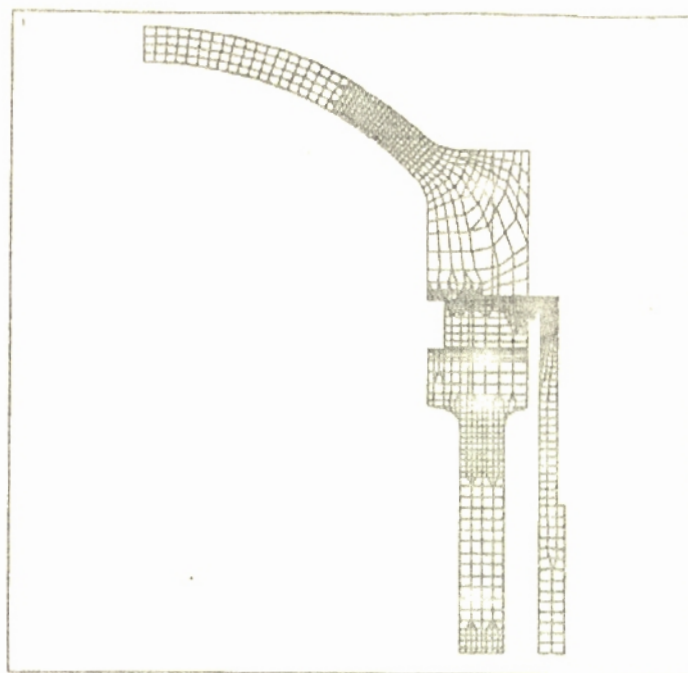


Figura 2- Det. da ligação do vaso à saia (concep. inicial)

Figura 3- Geometria da nova concepção

2. Modelo de Análise

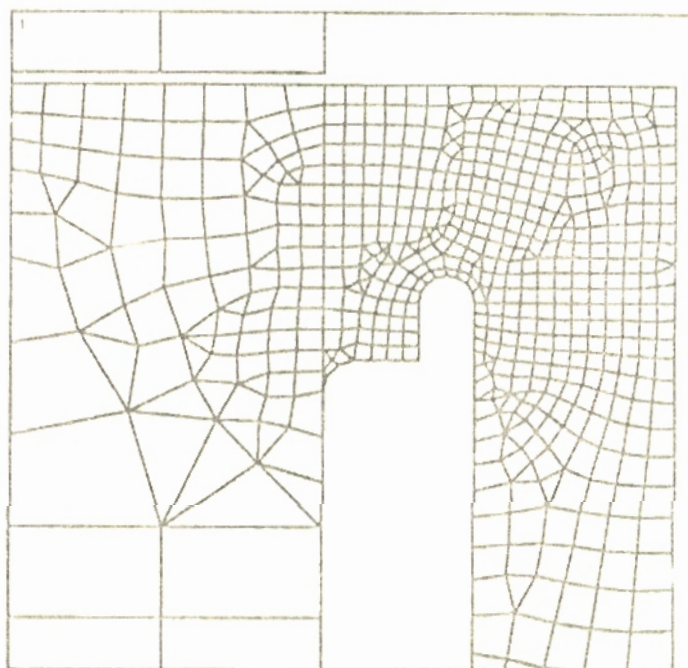
Foi utilizado um modelo axissimétrico para representar a estrutura formada pelos componentes vaso de pressão e saia de suportaçãõ (figura 4a). Como a área de interesse para o estudo restringiu-se à região de ligação do vaso com a suportaçãõ (figura 4b), sem cargas externas transversais, não houve necessidade de se modelar a geometria completa desses componentes. Portanto, os trechos do vaso e da suportaçãõ situados abaixo de uma determinada seçãõ (suficientemente distante da região de interesse) não foram considerados no modelo. Naturalmente, na análise mecânica foram impostas condições de contorno para simular a força na parede do vaso devida à pressão interna atuante no seu fundo.



ANSYS 4.4A
 SEP 4 1992
 8:54:13
 PREP7 ELEMENTS
 TYPE NUM

ZY =1
 -DIST=997.641
 -XF =1586
 -YF =125

(a) Malha completa



ANSYS 4.4A
 SEP 4 1992
 9:35:53
 PREP7 ELEMENTS
 TYPE NUM

ZY =1
 -DIST=88.153
 -XF =1128
 -YF =1983

(b) Região de ligação da suportaçoão ao vaso

Figura 4- Modelo da nova concepção

A mesma malha de elementos finitos foi utilizada tanto para a análise térmica como para a análise mecânica. Para a análise térmica foi usado o elemento isoparamétrico térmico com 4 ou 3 nós e 1 grau de liberdade (gd1) por nó (temperatura); identificado na biblioteca do ANSYS [1] como STIF55. No modelo

mecânico este elemento foi substituído pelo seu equivalente estrutural, também com 4 ou 3 nós e 2 gdl por nó (2 translações), o STIF42 do ANSYS. Os parafusos da união flangeada do vaso foram representados no modelo mecânico por elementos de viga 2-D (STIF3 do ANSYS) e no modelo térmico por elemento de barra 2-D de condução de calor (STIF32 do ANSYS). No modelo mecânico foram ainda utilizados elementos de "gap" (STIF12 do ANSYS) na superfície de contato entre os flanges superior e inferior. No modelo térmico o grau de liberdade (temperatura) dos nós correspondentes a esta superfície de contato foram acoplados.

A montagem do modelo completo (vaso + suportação) partiu de um modelo do vaso previamente desenvolvido, do qual foi extraída uma área retangular do flange inferior nas proximidades da região de liga o com a suportaço. A malha de elementos finitos nessa área retangular foi então refeita juntamente com a prepara o do restante do modelo, que incluiu a suportaço. Esta parte nova do modelo foi desenvolvida utilizando-se os comandos do módulo MESH da rotina PREP7 do ANSYS [1]; a figura 5 mostra os keypoints, linhas e áreas utilizados na modelagem. A fusão do modelo antigo com essa nova parte foi feita através do comando MERGE do ANSYS, para os nós situados na interface dos 2 modelos.

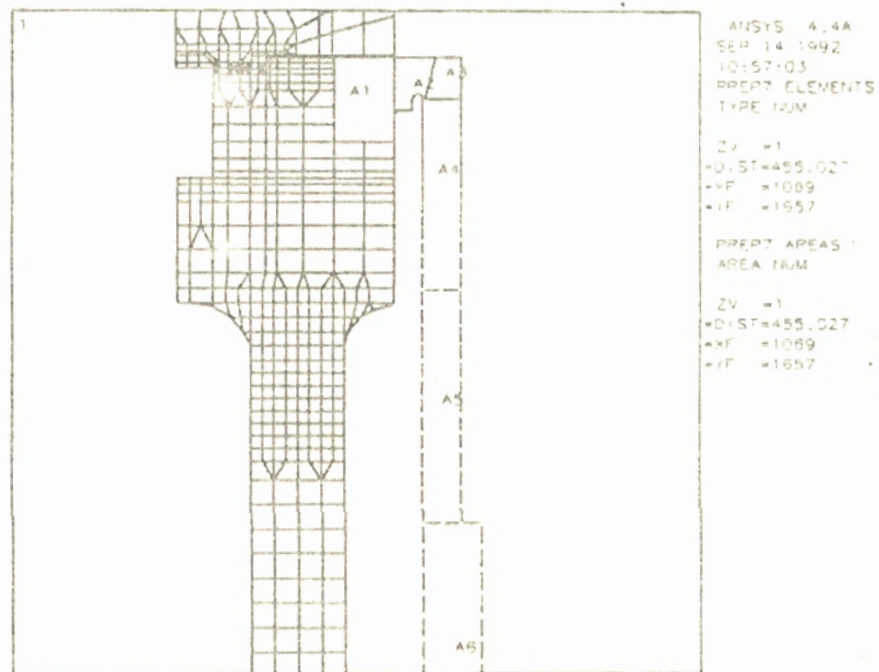


Figura 5- áreas utilizadas para gera o da parte nova do modelo

3. Análises Realizadas e Resultados Obtidos

As análises t rmicas foram realizadas considerando-se as condi es de troca de calor por convec o nas superfícies internas do vaso (com temperaturas da ordem de 280 C) e na superfície externa da saia de suportaço (com temperatura de 40 C). As demais superfícies foram consideradas adiabáticas. A

troca de calor por radiação entre a superfície lateral do flange inferior e a superfície interna da saia, bem como entre os dois flanges (na região onde não há contato) foi avaliada com a utilização de elementos de radiação (STIF31 do ANSYS), mas optou-se por desprezá-la, pois sua influência era muito pequena e traria a inconveniência de introduzir não-linearidades desnecessárias.

Nas análises mecânicas foram considerados os seguintes carregamentos: (a) temperaturas nodais obtidas das análises térmicas; (b) pressão interna de operação do reator; (c) esforço de pré-aperto dos parafusos (aplicado como uma deformação inicial no elemento de viga que atravessa o flange superior); (d) peso próprio (do vaso, da suportaçao, internos do reator e estruturas montadas sobre o tampo do vaso). Além disso, foi aplicada na seção inferior da parede do vaso a força de fechamento devida à pressão interna atuante no fundo do vaso, o qual não foi considerado no modelo. Como condição de contorno, foram prescritos deslocamentos verticais nulos nos nós da seção inferior da saia de suportaçao.

Desde o início sabia-se que uma forma de reduzir o nível de tensões na região de ligação do vaso à suportaçao seria isolar um trecho da saia próximo a essa região, reduzindo-se assim a perda de calor para a água ambiente e, de consequência, o gradiente térmico na região. Porém, diante da restrição de se manter toda a superfície externa da suportaçao em contato com a água (como previa a concepção inicialmente proposta), resolveu-se avaliar em primeiro lugar a influência da geometria do detalhe de ligação do vaso com a saia na distribuição de tensões na região.

Portanto, foram analisados alguns casos (com base na concepção inicial) variando-se a dimensão do depósito de solda e considerando-se ou não a continuidade estrutural na região de apoio do depósito de solda. Os resultados obtidos nessas primeiras análises mostraram que: (a) a alteração na dimensão do depósito de solda apenas provoca uma redistribuição de tensões localizada, ora sobrecarregando ora aliviando determinada seção, porém mantendo elevado o nível geral de tensões; (b) a consideração da continuidade estrutural ao longo da superfície de apoio do depósito de solda na saia eleva o nível de tensões em toda a região de ligação do vaso à suportaçao e isto acontece porque desta maneira introduz-se mais rigidez na estrutura, dificultando-se ainda mais a expansão térmica.

Numa segunda etapa procurou-se avaliar o comportamento das tensões ao se rebaixar o nível da água na superfície externa da saia de suportaçao (admitiu-se o trecho da suportaçao acima desse nível isolado termicamente). Foram também analisados alguns casos reduzindo-se a espessura da saia.

Esse estudo inicial de alternativas mostrou que a solução final deveria prever o isolamento térmico de um trecho da saia próximo à região de ligação do vaso com a saia. Além disso, o apoio do vaso na saia deveria ser reprojeto de tal maneira que ao ser feita a solda de ligação fosse garantida uma continuidade estrutural ao longo de toda a espessura da seção. Isto permitiria a definição de uma espessura menor para a saia,

o que a tornaria mais flexível, contribuindo também para reduzir as tensões térmicas.

Portanto, algumas modificações foram adotadas no projeto da suportação, dando origem a uma nova geometria que está sendo chamada neste trabalho de nova concepção (figura 3). Na tabela 1 são apresentados os resultados da análise da nova concepção para quatro casos diferentes, variando-se, de um caso para o outro, o comprimento e/ou a espessura do trecho da saia isolado termicamente. Para cada caso são apresentadas as tensões SI ("Stress Intensity") máximas de membrana + flexão nas seções I e II indicadas na figura 6. Nas duas primeiras colunas estão as tensões provocadas pela temperatura + cargas mecânicas e as outras duas colunas mostram as tensões decorrentes apenas das cargas mecânicas. A tensões de membrana+flexão foram obtidas através do procedimento de linearização de tensões disponível no ANSYS [1], que é discutido adiante na seção 5.

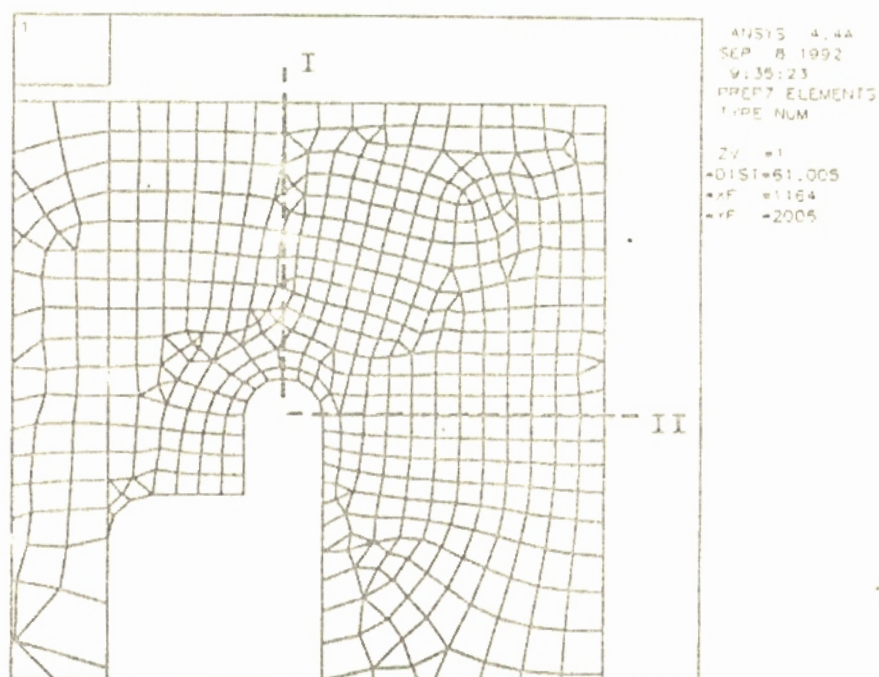
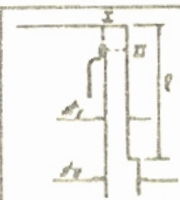

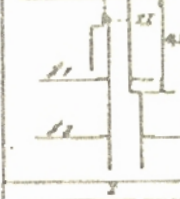
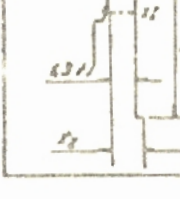


Figura 6- Seções selecionadas para verificação

A observação dos resultados (duas primeiras colunas da tabela 1) obtidos nos casos 1, 2 e 3 revela a influência do comprimento do trecho isolado no nível de tensões. Com relação à espessura da saia nesse trecho, sua influência pode ser aferida comparando-se os resultados dos casos 1 e 4.

Nas figuras 7 e 8 são apresentadas, respectivamente, as distribuições de temperaturas e de tensões SI correspondentes ao caso 2.

Tabela 1- Tensões SI ("Stress Intensity") de membrana + flexão

| CASO NOMENCLATURA | SI _{max} (F ₁₁ + F ₃₃) N/mm ² | | | | |
|---|--|----------|---------|----------|------|
| | TEMP + MEC | | MEC | | |
| | SEÇÃO I | SEÇÃO II | SEÇÃO I | SEÇÃO II | |
|  | CASO 1 | 377,4 | 245,5 | 41,5 | 36,5 |
|  | CASO 2 | 363,8 | 287,1 | 41,7 | 36,6 |
|  | CASO 3 | 500,8 | 390,8 | 42,9 | 37,6 |
|  | CASO 4 | 333,4 | 250,8 | 49,2 | 37,8 |

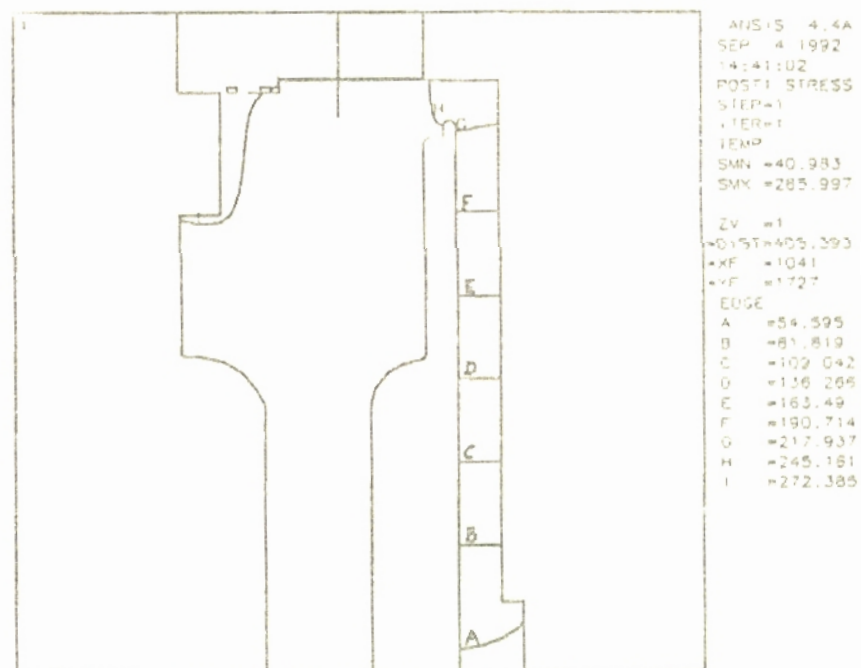


Figura 7- Distribuição de temperaturas (caso 2)

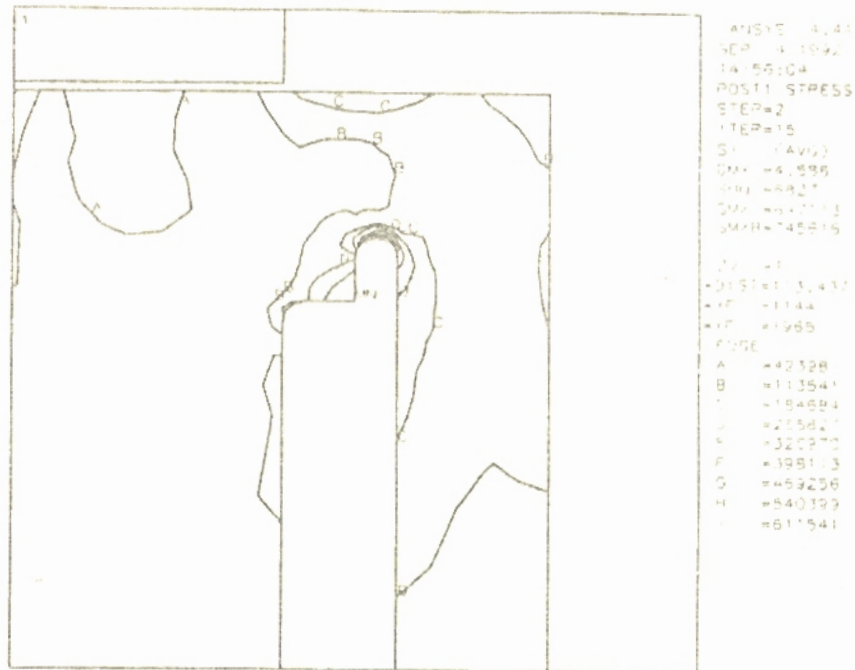


Figura 8- Distribuição de tensões SI (caso 2)

4. Verificação das Tensões segundo o Código ASME

Em primeiro lugar vem a definição do limite de jurisdição entre o componente barreira de pressão (o vaso de pressão do reator) e a sua estrutura de suportes; por interpretação do subparágrafo NB-1132.2 do ASME [2], o depósito de solda no flange e a solda de ligação devem ser considerados como parte do vaso e como tal devem atender aos requisitos da Subseção NB ("Class 1 Components") [2]. A partir da solda de ligação a verificação deve seguir o que determina a Subseção NF ("Component Supports") [3].

A Subseção NF [3] dispensa a avaliação de tensões térmicas (subparágrafo NF-3121.11) e considerando-se que os demais carregamentos de operação normal (pressão, peso próprio e pré-aperto) provocam um nível baixo de tensões na saia (observe as duas últimas colunas da tabela 1), a verificação das tensões para seções situadas após a solda de ligação para condições normais de operação do reator torna-se dispensável.

Para as seções que vão desde o vaso até a solda de ligação a Subseção NB [2] (subparágrafo NB-3222.2, limites de serviço nível A) exige a verificação do limite $(P_1 + P_b + Q)_R < 3S_m$, onde $(P_1 + P_b + Q)_R$ é o "range" máximo das tensões primárias + secundárias e S_m é o valor admissível básico da norma. Deve-se notar que o limite é imposto ao "range" de tensões durante toda a história de operação normal do reator. Portanto, não haveria necessidade de incluir o carregamento de peso próprio na verificação desse limite, mas como sua influência é muito pequena isso não é relevante.

Para o material em questão $3S_m = 481,5 \text{ N/mm}^2$. Portanto, para condições normais de operação, os casos 1, 2 e 4 atendem

aos requisitos do ASME (vide na tabela 1 as tensões na seção I provocadas pela temperatura e carregamentos mecânicos).

Conforme mencionado na introdução deste trabalho, o projeto de suportaçao baseia-se num compromisso entre os requisitos para suportar as solicitações dinâmicas e térmicas. O carregamento dinâmico é associado a uma condição que implica a verificação de tensões primárias de membrana e de flexão. No presente trabalho não são apresentados os resultados, nem é feita a verificação das tensões provocadas pelo carregamento dinâmico, mas pode-se dizer que o projeto baseado nas configurações correspondentes aos casos 1 e 4 da tabela 1 não é viável, o primeiro por não atender aos requisitos da norma e o segundo devido a problemas construtivos.

5. Linearização das Tensões

A maneira de relacionar distribuições de tensões obtidas pelo método dos elementos finitos com os critérios de falha do ASME para os quais são impostos limites sobre as tensões primárias e primárias mais secundárias é um assunto polêmico e referências recentes sobre o assunto [4][5] deixam várias questões em aberto, algumas delas envolvendo o procedimento de linearização utilizado para obtenção das componentes de membrana e de flexão.

Uma dessas questões diz respeito à escolha das componentes de tensões a serem linearizadas. No caso de estruturas axissimétricas existem quatro componentes de tensão: três normais (meridional, circunferencial e na direção da espessura) e uma de cisalhamento. Com relação às tensões normais meridional e circunferencial não há dúvida quanto ao fato de que as mesmas devem ser linearizadas. A polêmica envolve a linearização da tensão de cisalhamento e da tensão normal na direção da espessura da seção para a determinação da sua contribuição à flexão. Teoricamente é difícil justificar o cálculo de uma parcela de flexão para estas tensões [4]. Sendo assim, que valor destas componentes (tensão total ou tensão de membrana) deve ser utilizado na avaliação da tensão equivalente SI ("stress intensity") de membrana + flexão?

O método que se encontra disponível na rotina de pós-processamento POST1 do ANSYS [1] considera a linearização das componentes normais meridional (SY) e circunferencial (SZ) e toma para o cisalhamento (SXY) a tensão média. Com relação à componente normal na direção da espessura da seção (SX), o programa tem duas opções: (a) despreza as tensões de flexão e, portanto, as tensões de membrana + flexão são iguais às tensões de membrana; (b) assume que as tensões de pico são nulas nas superfícies interna e externa, o que significa dizer que as tensões de membrana + flexão são iguais às tensões totais.

Na figura 9 é apresentado o resultado da linearização de tensões feita na seção I (para caso 2) utilizando-se o procedimento do ANSYS [1]. As figuras 9a a 9d referem-se às componentes de tensão (SX, SY, SZ e SXY) enquanto as figuras 9e e 9f dizem respeito à tensão equivalente SI considerando as opções (a) e (b) mencionadas no parágrafo anterior,

respectivamente. Nas figuras estão representadas as tensões totais, de membrana e de membrana + flexão.

Comparando-se os valores das tensões SI de membrana + flexão mostrados nas figuras 9e e 9f, verifica-se que há uma diferença substancial entre os resultados quando se utilizam as duas opções disponíveis no ANSYS, as quais estão relacionadas diretamente com a consideração ou não das tensões de flexão para componente normal na direção da espessura (figura 9a). Os resultados da tabela 1 foram obtidos com a opção (a).

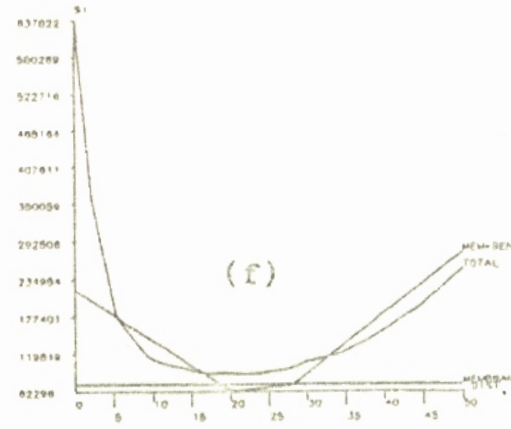
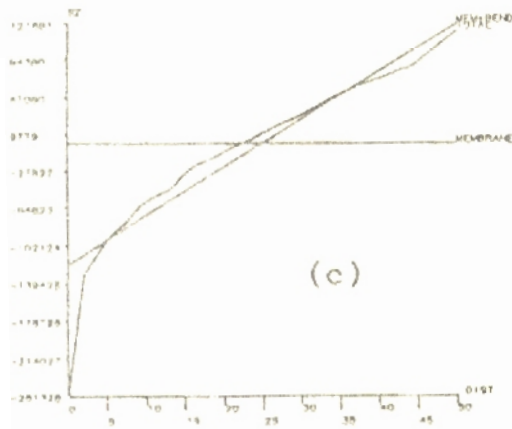
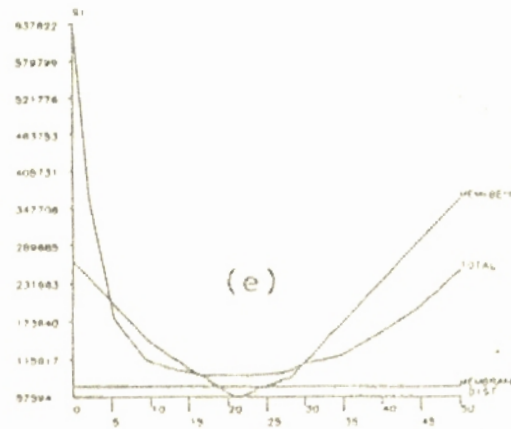
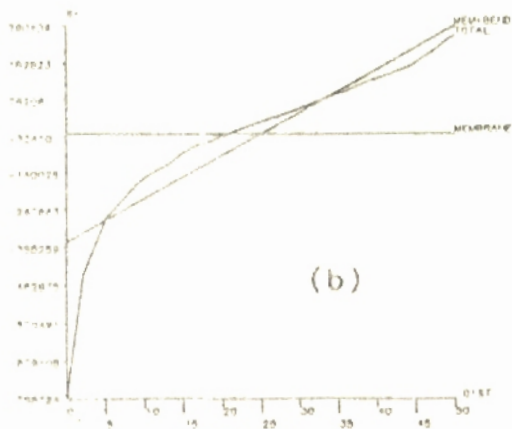
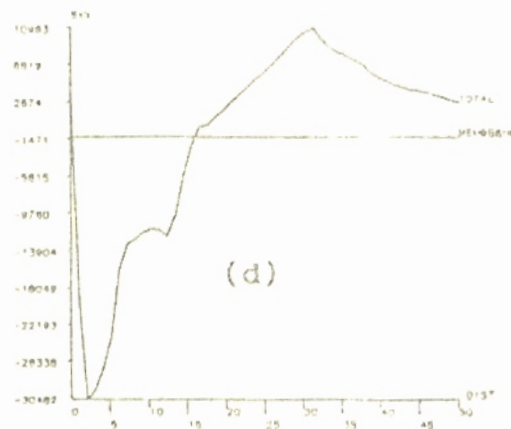
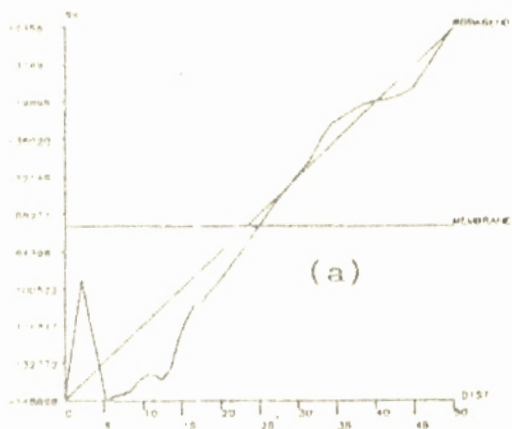


Figura 9- Linearização de tensões

6. Conclusões

O estudo realizado mostrou que o isolamento térmico de um trecho da suportaçõa próximo à solda de ligaçõa com o vaso é a única forma de contornar o problema de tensões térmicas elevadas, mantendo-se as características de rigidez requeridas pelas condições de carregamento dinâmico.

É importante a definiçõa prévia de qual norma e seus respectivos limites aplicar na regiõa de transiçõa vaso-suportaçõa. Neste trabalho interpretou-se que deve ser aplicada a Subseçõa NB [2] no vaso até a solda de ligaçõa e a partir daí a Subseçõa NF [3], que dispensa a verificaçõa de tensões térmicas.

Na questõa da linearizaçõa de tensões, julga-se que o procedimento do programa ANSYS com a opçõa (a) mencionada na seçõa anterior é o mais adequado porque é mais próximo da realidade física.

Nota: Este trabalho com algumas modificações e dando ênfase à discussõa dos resultados obtidos foi submetido para apresentaçõa no VII SIBRAT [6].

REFERÊNCIAS

- [1] ANSYS Engineering Analysis System, Revision 4.4A, 1990.
- [2] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division I, Subsection NB, Classe 1 Components, 1989.
- [3] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division I, Subsection NF, Component Supports, 1989.
- [4] J.L. Hechmer and G.L. Hollinger, Considerations in Calculations of Primary-plus-Secondary Stress Intensity Range For Code Stress Classification, PVP - Vol.136, 17-33, 1988.
- [5] J.L. Hechmer and G.L. Hollinger, Three Dimensional Stress Criteria , PVP - Vol.210-2, 181-191, 1991.
- [6] J.R.B. Cruz, M. Mattar, e C.A.J. Miranda, Análise de Tensões na Estrutura de Suporte do Vaso de Pressãa de um Reator PWR, 7º Simpósio Brasileiro sobre Tubulações e Vasos de Pressãa, Florianópolis-SC, 7 a 9 de outubro de 1992.