



## SOFTWARE PARA CÁLCULO DA GEOMETRIA DE TANQUES VERTICAIS E HORIZONTAIS

Recebido para publicação em 06/04/2001

Aprovado para publicação em 30/10/2001

Lúcia Kumoto Katsuki<sup>1</sup>, Paulo Cesar Razuk<sup>2</sup>

**RESUMO:** *Devido a grande utilização dos tanques nas indústrias inclusive no processamento de produtos agrícolas foi desenvolvido um sistema computacional utilizando a linguagem Borland Delphi 4<sup>®</sup>, com o objetivo de calcular a geometria de tanques verticais e horizontais, além do cálculo da área de troca de calor da parte cilíndrica do tanque. O dimensional de tanques é definido através do cálculo das suas dimensões e é muito importante na otimização do uso de chapas diminuindo o custo na construção do tanque. A transferência de calor será mais eficiente quanto maior a área de troca de calor, assim o programa auxilia a determinar a geometria do tanque obtendo a maior área de troca de calor.*

**Palavras-chave:** *vasos de pressão, sistema computacional.*

### SOFTWARE FOR CALCULATION OF THE GEOMETRY OF VERTICAL AND HORIZONTAL TANKS

**ABSTRACT:** *Due to great use of the tanks in the industries besides in the processing of agricultural products a computational system was developed using the Borland Delphi 4<sup>®</sup> language, capable to calculate the geometry of vertical and horizontal tanks, besides the calculation of the area of change of heat of the cylindrical part of the tank. The dimensional of tanks is defined through the calculation of its dimensions and it is very important in the optimization of the use of foils decreasing the cost in the construction of the tank. The transfer of heat will be more efficient as larger the area of change of heat, the program aids like this to determine the geometry of the tank obtaining the largest area of change of heat.*

**Keywords:** *pressure vessels, computational system.*

## 1 INTRODUÇÃO

Os tanques são importantes equipamentos de processo, capazes de conter um fluido, nos quais os mais diversos produtos podem sofrer transformações físicas e/ou químicas. Podem ser utilizados para armazenagem, manuseio ou distribuição de fluidos em refinarias de petróleo, indústrias químicas, petroquímicas, alimentícias, farmacêuticas e em terminais de armazenagem.

Os tanques podem operar sob pressão ou estarem sujeitos

a pressão atmosférica e podem ser construídos na posição vertical ou horizontal. Um tanque compõe-se basicamente do costado e dos tampos. Os tampos são peças de fechamento do tanque, cujos formatos mais usuais são: semi-elíptico, toro esférico, semi-esférico, difusor, toricônico, cônico e plano. Os vasos horizontais são muito utilizados principalmente para permutadores de calor e para a maioria dos vasos de acumulação. O cálculo da área de troca de calor auxiliará na definição da geometria do tanque, visando gerar um modelo que proporcione maior área diminuindo o tempo e custo da operação envolvida nos permutadores de calor.

1 professora assistente doutor, Departamento de Computação, Universidade Estadual Paulista, Av Luis Edmundo C. Coube s/n 17033-360, Bauru, SP, [lucia@fc.unesp.br](mailto:lucia@fc.unesp.br), fone/fax (14) 221-6034

2 professor titular, Departamento Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Av Luis Edmundo C. Coube s/n 17033-360, Bauru, SP, [pcrazuk@uol.com.br](mailto:pcrazuk@uol.com.br), fone/fax (14) 221-6119.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O software apresentado por Katsuki (1999) foi aprimorado possibilitando calcular a geometria de tanques horizontais com seção transversal circular e o valor da área de troca de calor da parte cilíndrica do tanque.

Foi utilizado no desenvolvimento do trabalho um microcomputador padrão IBM PC, equipado com microprocessador Pentium, com velocidade de processamento de 166 Mhz, 64 MBytes de memória, 2GBytes de disco rígido, resolução de vídeo de 800x600 pixels, 16 milhões de cores, sistema operacional Microsoft Windows 98<sup>®</sup> e a linguagem de programação Delphi 4<sup>®</sup>.

A metodologia utilizada na definição da geometria do tanque vertical foi apresentada em Katsuki (1999). Os conceitos sobre tanques horizontais e área de troca de calor estão apresentados a seguir.

### 2.1 Tanque Horizontal

Um vaso horizontal de seção transversal circular pode possuir tampos toro esféricos ou semi-elípticos. O tampo toro esférico é constituído por uma calota central esférica e por uma seção toroidal de concordância, de raio  $r$ . Como a American Society of Mechanical Engineers (ASME, 1998), seção VIII, exige para o raio  $r$  o valor mínimo de 6 %, foi adotado neste trabalho o valor de  $r$  igual a 10% do diâmetro. O tampo semi-elíptico possui as seções transversais como uma semi-elipse geométrica perfeita utilizando a relação 2:1 entre os eixos.

O volume real,  $V_R$ , de um vaso horizontal de seção circular é obtido pela equação (1) definida por Bednar (1994).

$$V_R = 0,785 L D^2 + 1,0472 D^2 H_T \quad (1)$$

onde  $L$  é comprimento do costado e  $D$  o diâmetro do vaso.

A altura do tampo,  $H_T$ , será definido pelas equações (2) e (3) para tampos toro esféricos e semi-elípticos, respectivamente.

$$H_T = 0,194 D + H_S \quad (2)$$

$$H_T = 0,25 D + H_S \quad (3)$$

onde  $H_S$  é a altura da parte reta, ou saia, exigida pela norma ASME (1998). A parte reta é uma pequena seção

cilíndrica incorporada ao tampo estabelecendo uma certa distância entre a linha de tangência e a linha de solda. Esta seção evita uma distribuição irregular e concentração de tensões na região de transição de formato.

De acordo com Bednar (1994), recomenda-se:

$$L = 2,3 D \quad (4)$$

Considerando que o volume real é obtido do volume útil acrescido de 10%, então tem-se

$$V_R = 1,1 \cdot V_U \quad (5)$$

onde  $V_U$  é o volume útil do vaso fornecido na especificação do projeto.

Igualando as equações (1) e (5) e substituindo a equação (4) tem-se:

$$1,1 V_U = 1,806 D^3 + 1,0472 D^2 H_T \quad (6)$$

Aplicando em (6) as equações (2) e (3) e adotando o valor 0,020 m para a altura da parte reta dos tampos, obtém-se respectivamente, para tampos toro esféricos e semi-elípticos, as equações (7) e (8).

$$2,01 D^3 + 0,021 D^2 - 1,1 V_U = 0 \quad (7)$$

$$2,07 D^3 + 0,021 D^2 - 1,1 V_U = 0 \quad (8)$$

Como o volume útil será fornecido, estas equações são do terceiro grau em função de uma única variável e possível de se determinar. Assim, para definir a geometria do vaso horizontal com tampos toro esféricos e semi-elípticos, resolvem-se as equações (7) e (8), respectivamente, para obter o diâmetro. O comprimento do costado é calculado através da equação (4).

O comprimento total do vaso é dado por:

$$H = L + 2 H_T \quad (9)$$

Para efeito de cálculo de custos, calcula-se o total de material utilizado na construção do vaso, através do seu peso. O peso depende do total de chapa e do peso específico do material empregado.

A chapa utilizada na construção do tampo é obtida pela equação (10) definida por Souza & Razuk (1996) que fornece a área,  $A_T$ , do tampo.

$$A_T = \left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{D_{PT}}{1000}\right)^2 \quad (10)$$

onde o diâmetro planejado do tampo,  $D_{PT}$ , é calculado, respectivamente, para tampos toro esférico e semi-elíptico, pelas equações (11) e (12).

$$D_{PT} = 1110 D + 1,57 E_T + 2 H_S + 20 \quad (11)$$

$$D_{PT} = 1180 D + 1,57 E_T + 2 H_S \quad (12)$$

onde  $E_T$  é a espessura do tampo.

A área do costado é calculado por:

$$A_C = \pi \left( D + \frac{E_C}{1000} \right) \left( L - \frac{H_S}{500} \right) \quad (13)$$

onde  $E_C$  é a espessura da chapa do costado.

O peso total do vaso é obtido da equação:

$$P = (A_C E_C + 2 A_T E_T) \frac{CA}{1000} \quad (14)$$

onde  $CA$ , peso específico do material utilizado, vale  $7920 \text{ kg/m}^3$  no caso do aço inoxidável e  $7800 \text{ kg/m}^3$  para o aço-carbono.

## 2.2 Área de Troca de Calor

De acordo com Kern (1980) a transmissão de calor é a ciência que trata das taxas de troca de calor entre um corpo quente denominado fonte e um corpo frio denominado receptor. A superfície para aquecer e esfriar vasos agitados pode ser fornecida pela jaqueta externa ou por serpentina interna. Bondy et al. (1983) dão preferência ao uso de jaqueta devido aos seguintes fatores: materiais de construção mais baratos, menor possibilidade de contaminação, limpeza e manutenção mais fáceis e maior área de transferência de calor.

A jaqueta convencional é uma parede extra ao redor da parte cilíndrica. Esta cobertura extra cria um espaço anular, geralmente concêntrico, entre as superfícies externas do tanque e interna da jaqueta. É possível recobrir a parte cilíndrica e o tampo inferior, só a parte cilíndrica ou parte dela ou só o tampo inferior.

A área de troca de calor da parte cilíndrica,  $A_{TC}$ , de um vaso com jaqueta é definida por Steve (1998), pela equação (15).

$$A_{TC} = \pi (D + E_C) H \quad (15)$$

onde  $D$  é o diâmetro interno,  $E_C$  a espessura da chapa da parte cilíndrica e  $H$  a altura da parte cilíndrica.

O cálculo do diâmetro do tanque varia para cada tipo de tampo inferior e depende dos dados definidos de acordo com as necessidades do processo, tais como, volume real,  $V_R$ , da relação,  $D/H$ , entre o diâmetro e a altura; e principalmente do tipo de tampo inferior utilizado. Sendo mais usuais os tampos toro esférico, semi-elíptico, semi-esférico, difusor, toricônico, cônico e plano. Para os tanques com tampo inferior toro esférico com raio de concordância igual a 10% a equação para o cálculo do diâmetro é definido pela equação (16). As equações do diâmetro para os outros tipos de tampo podem ser encontrados em Katsuki (1999).

$$D = \left( \frac{V_R}{\frac{\pi}{4DH} + 0,09708} \right)^{1/3} \quad (16)$$

Segundo Telles (1996) a espessura da chapa de um tanque deve atender a espessura mínima para garantir a sua estabilidade estrutural e deve resistir à pressão interna.

A espessura de resistência estrutural,  $e_s$ , garante a montagem do tanque e evita um colapso pelo próprio peso ou por ação do vento. Souza & Razuk (1996) sugerem para determinação desta espessura, em milímetros, para o aço-carbono e para o aço inoxidável, respectivamente, as expressões:

$$e_s = 2,5 + D + S_c$$

$$e_s = 1,6 + D \quad (17)$$

A sobresspessura para corrosão,  $S_c$ , é um acréscimo de espessura, que se aplica ao aço-carbono, destinado a ser consumido pela corrosão ao longo da vida útil prevista para o tanque. Na prática, adotam-se para a sobresspessura os valores apresentados na Tabela 1.

meio	sobresspesura (mm)
pouco corrosivo	1,5
medianamente corrosivo (normal)	3
muito corrosivo	4 a 6

**Tabela 1** — Sobresspesura para corrosão em vasos de aço-carbono

Em tanques pressurizados a espessura da parede do tanque e de seus tampos, aumentam para resistir à pressão interna. O código ASME (1998), Seção VIII, Divisão 1, fornece as equações para cálculo do valor mínimo para a espessura da parte cilíndrica e de cada tampo do tanque. Os tipos de tampos permitidos em tanques pressurizados são semi-elíptico, toroesférico, cônico e toricônico. O valor da espessura mínima em tanques pressurizados para os cascos cilíndricos deve ser calculado por:

$$e = \frac{PR}{SE - 0,6P} + S_c \quad (18)$$

onde P é a pressão interna de projeto, R o raio interno do cilindro, S é a tensão admissível do material, E coeficiente de eficiência de solda, S<sub>c</sub> a sobresspesura para corrosão. A tensão admissível do material é obtida do código ASME (1998) e depende da especificação do material e da temperatura de projeto do tanque. Foi adotado, na implementação do software, o método de radiografia para a inspeção de soldas e cujos coeficientes estão mostrados na Tabela 2.

	Grau de inspeção		
	Radiografia total	Radiografia parcial	Não radiografada
Coefficiente de eficiência	1,00	0,85	0,70

**Tabela 2** — Coeficientes de eficiência de solda.

A espessura final, E<sub>C</sub>, a ser adotada será a espessura comercial da chapa imediatamente superior à mínima necessária para atender a espessura mínima para garantir a sua estabilidade estrutural e para resistir à pressão interna.

### 3 RESULTADOS

A figura (1) apresenta a tela principal do programa, onde

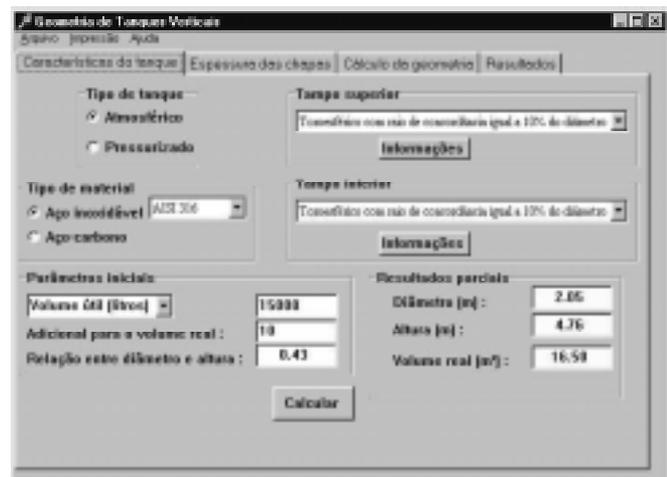
aparecem as suas opções, sendo o cálculo da geometria de tanques verticais, de tanques horizontais e o cálculo da agitação. A rotina para cálculo da agitação foi apresentada por Katsuki & Razuk (2000).



**Figura 1** — Tela principal do programa.

Para o cálculo da geometria de tanques verticais, foi necessário o uso de quatro páginas para melhor distribuir as várias informações envolvidas.

A tela exibida na figura (2) apresenta a página onde o usuário fornece as características do tanque, tais como o tipo, atmosférico ou pressurizado; o tipo dos tampos superior e inferior; o material empregado na fabricação, aço inoxidável ou carbono; os parâmetros iniciais e os ângulos dos vértices para o caso de tampos toricônicos e cônicos.



**Figura 2** — Características do tanque para cálculo da geometria do tanque vertical.

Na segunda página do módulo, mostrada na figura (3), é exibido o valor calculado para a espessura mínima que garante a resistência estrutural e aguarda o fornecimento

da temperatura de operação. Para o caso de tanques pressurizados é necessário o cálculo da espessura para garantir a pressão interna. O valor da pressão interna e o grau de inspeção para cada tampo e para o costado, são solicitadas em caixas que só serão exibidas neste caso. O botão *Calcular* provocará a exibição da espessura mínima para a pressão interna e a adotada para cada tampo e para o costado. É adotada a espessura comercial mais próxima, tendo o usuário a possibilidade de alterá-la.



Figura 3 — Espessura das chapas utilizadas na fabricação do tanque atmosférico.

A figura (4) mostra a terceira página onde é informada a altura da parte reta do tampo. Como esta altura depende da espessura das chapas, o programa mostra novamente os valores adotados para a espessura das chapas. A maioria dos projetos adota a sugestão dos fabricantes, mas o programa permite o fornecimento de diferentes valores, após mostrar uma mensagem de confirmação.

O botão *Calcular geometria* deverá ser pressionado após o fornecimento de todos dados, causando a exibição dos resultados na última página, mostrada na figura (5). Os dados obtidos da geometria do tanque são o volume, a altura, a área e peso da chapa utilizada na construção do tanque. O programa mostra também a cota da superfície livre e a área de troca de calor da parte cilíndrica do tanque.

O usuário deve analisar a área de troca de calor obtida através dos parâmetros fornecidos, verificando se com este valor a transferência de calor será eficiente. Alguns parâmetros poderão ser alterados a fim de se obter maior área de troca de calor, conforme a necessidade e exigências do processo.

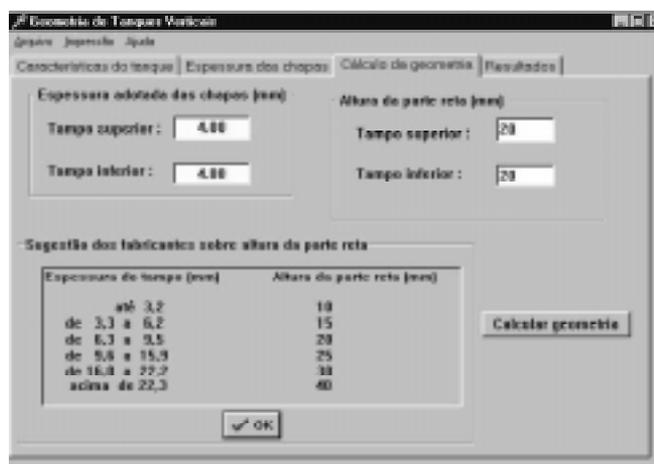


Figura 4 — Fornecimento da altura da parte reta.

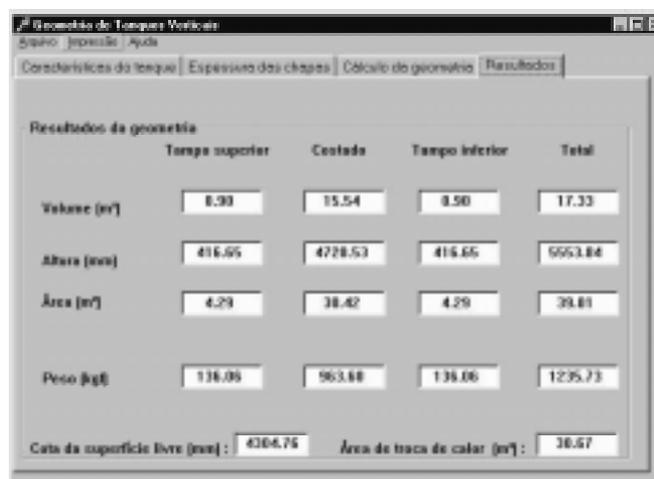


Figura 5 — Resultados da geometria do tanque vertical pressurizado.

Com o objetivo de se ter um software de fácil manipulação e auto-explicativo, o programa apresenta três opções em uma barra no alto da tela, sendo denominadas *Arquivo*, *Impressão* e *Ajuda*. A primeira opção, permite abrir, salvar ou salvar como, um arquivo de texto contendo os parâmetros e resultados obtidos do cálculo da geometria de tanque vertical. A opção de impressão abre nova janela onde será exibido o relatório que poderá ser impresso. Em todas páginas exibidas pelo programa, o usuário pode solicitar ajuda através da opção existente na barra ou através de botões colocados próximos aos campos correspondentes. Como exemplo, a figura (6) ilustra a janela contendo informações sobre o tampo toroesférico, exibida após pressionar o botão *Informação* da tela mostrada na figura (2).

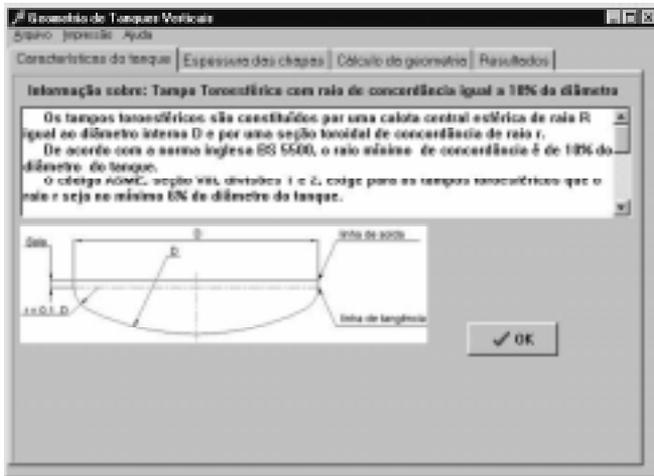


Figura 6 — Informação exibida sobre o tampo toroesférico 10%.

O programa permite além do cálculo da geometria de um tanque vertical, o cálculo da geometria de um tanque horizontal, utilizando a tela exibida na figura (7), também de forma clara e simples. Na parte superior da tela o usuário fornece as características do tanque, tais como o tipo dos tampos, semi-elíptico 2:1 ou toroesférico; o material empregado na fabricação, aço inoxidável ou carbono; o volume útil e a espessura do costado e dos tampos. O usuário pode selecionar a especificação do material numa lista vertical disponível.

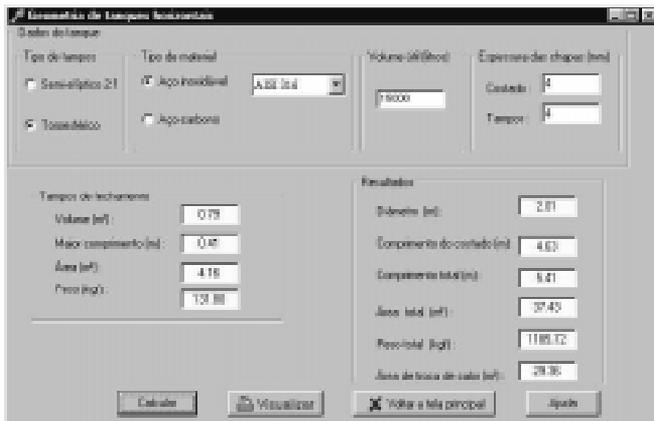


Figura 7 — Cálculo da geometria de tanques horizontais.

O botão *Calcular* provocará a exibição dos dados calculados na parte inferior da tela, referentes aos tampos de fechamento e os resultados da geometria.

Para impressão do relatório contendo os dados da geometria do tanque horizontal deve-se inicialmente pressionar o botão *Visualizar*. Isto causará a abertura de nova janela mostrando na tela o relatório a ser impresso. Para efetuar

o encerramento do programa deve-se pressionar o botão *Voltar a tela principal*.

## 4 CONCLUSÃO

O sistema computacional gerado proporcionou a obtenção de resultados na determinação de parâmetros referentes a geometria de tanques verticais e de tanques horizontais, bem como o valor da área de troca de calor, de maneira rápida e eficiente. O sistema apresenta a facilidade de comunicação com o usuário, auxiliando através de várias mensagens e de recursos para obtenção de informações teóricas e técnicas. Desta maneira, o sistema auxilia o usuário a informar os parâmetros que melhor se ajustam a suas necessidades, fornecendo a possibilidade de alterar os parâmetros já gravados anteriormente a fim de adequar a novas situações.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASME. 1998 **ASME Boiler and Pressure Vessel Code**. Seção VIII divisão 1. EUA: The American Society of Mechanical Engineers, 1998. p.633-41.
- BEDNAR, P.E.H. **Pressure Vessel Design Handbook**. 1.ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1994. 431p.
- BONDY, F., LIPPA, S. Heat transfer in agitated vessels. **Chemical Engineering**. Abril, p.62-71, 1983.
- KATSUKI, L. K. **Sistema integrado computacional auxiliar na definição da geometria e agitação de tanques atmosféricos e pressurizados, aliado a técnicas de extração**. Botucatu, 1999. 176p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- KATSUKI, L. K., RAZUK, P. C. Cálculo da potência necessária na agitação de fluidos, utilizando um software computacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXIX, 2000, Fortaleza,. **Anais...**, Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2000. CD\_ROM.
- KERN, D.Q. **Processos de Transmissão de Calor**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980. 671p.
- SOUZA, E., RAZUK, P.C. **Operações Unitárias no Tratamento do Xarope de Açúcar**. Bauru: EDIPRO, 1996. 319p.
- TELLES, P.C.S. **Vasos de Pressão**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996. 302p.