

# CARACTERIZAÇÃO DE VAZAMENTOS DE TOPO EM EXPANSORES SCROLL COM O USO DE SIMULAÇÕES CFD

*Gustavo Luisi Paixão Silva Campolongo, Cyro Albuquerque Neto, Paulo Eduardo Batista de Mello*  
*Engenharia Mecânica, Centro Universitário FEI*

**Resumo:** Expansores scroll são máquinas de deslocamento positivo utilizadas em aplicações de aproveitamento de calor para a produção de energia elétrica, apropriados para pequena escala ou pesquisas de laboratório. A eficiência destes dispositivos é bastante reduzida por vazamentos internos radiais e tangenciais. Os vazamentos de topo (radiais) podem ser minimizados utilizando um selo mecânico de material e forma apropriados. O presente projeto tem por objetivo aperfeiçoar a forma e posicionamento do selo mecânico na canaleta de vedação a fim de aumentar a eficiência de um expansor disponível na FEI, além de coletar informações como vazamento, força resultante sobre o selo e diferença de pressão. Para tanto, foram utilizadas simulações com o software Ansys CFX, que usa dinâmica dos fluidos computacional (CFD). Foram realizadas diversas simulações que permitiram avaliar a vazão de ar no entorno do selo mecânico e a força resultante que atua sobre ele.

## 1. Introdução

O ciclo de Rankine orgânico (ORC) tem se tornado alvo de estudos, tendo em vista que a atenção com a crise energética e a produção de energia alternativa é cada vez mais necessária. O ORC se diferencia do ciclo de Rankine convencional por utilizar fluidos orgânicos que possuem temperaturas de evaporação comparativamente mais baixas que a da água na mesma pressão, permitindo assim recuperar o seu calor a temperaturas mais amenas.

Para aplicações em pequena escala do ORC, o expansor Scroll tem se mostrado uma alternativa positiva, pois para trabalhar em uma faixa de potência entre 1 e 10 kW a sua eficiência isentrópica é muito maior do que a das turbinas atualmente existentes no mercado. Dependendo da escolha do fluido a sua eficiência pode chegar a excelentes resultados, como bem ilustrou Declaye et al. [1] que alcançou uma eficiência máxima de 75,7% e 2,1 kW utilizando um expansor Scroll com R245fa como fluido de trabalho.

Máquinas do tipo scroll, que podem ser utilizadas na implementação do ciclo de Rankine orgânico (ORC), têm aplicações também como bombas de vácuo e compressores de refrigeração. Seu tamanho e principalmente sua maior eficiência em relação a dispositivos que usam pistões, faz com que os dispositivos scroll sejam bastante usados em aplicações de menor escala, como bem ilustraram Venkataramani et al. [2] e Cheayb et al. [3] que, por meio de experimentos, obtiveram resultados promissores com este tipo de dispositivo.

Os expansores Scroll, como todos os dispositivos de deslocamento positivo, têm sua eficiência diretamente ligada à relação de pressão. As folgas que

geram tal diminuição de eficiência são necessárias para que não haja travamento do sistema, porém, devem ser reduzidas o máximo possível. As folgas podem ser tangenciais, entre a parede fixa e a móvel, ou de topo, onde há o selo mecânico de vedação. O vazamento, que pode ser de flanco, quando ocorre pela folga tangencial entre as paredes, ou de topo quando ocorre pela folga no topo. Estes vazamentos são os principais causadores de ineficiência nos expansores Scroll.

Este projeto de iniciação científica teve por objetivo estudar o vazamento de topo e aumentar a eficiência do expansor Scroll através da diminuição de tal vazamento e consequentemente melhorar o seu selo de vedação, seja por seu encaixe, tamanho ou forma, fazendo diversos testes com o software de CFD.

## 2. Metodologia

Para a obtenção de bons resultados o software CFX utiliza o método dos volumes finitos associado à resolução das equações de conservação de energia, quantidade de movimento e massa em cada volume de controle, por isso faz-se necessário a construção de uma geometria fiel à realidade e uma malha bastante refinada [4].

Devido às limitações de tempo e máquina, não seria viável realizar a simulação em toda a geometria Scroll. Portanto, foi reproduzida a seção por onde o fluido escoava no entorno do selo.

Pelo fato de o expansor scroll ter uma geometria circular foi feito um corte de 0,5 mm, pois assim a sua curvatura seria praticamente desprezível para o estudo localizado, tornando a simulação mais simples e mantendo a precisão desejada.

Para a confecção da malha, optou-se pelo modelo estruturado com células volumétricas de seis faces, pois a geometria relativamente simples torna possível a utilização da malha estruturada em todos os pontos. Isso gera uma série de vantagens, torna a simulação mais precisa e reduz o tempo já que com uma malha estruturada são geradas menos células do que com uma não estruturada. Deve-se acrescentar também que próximo às camadas limites faz-se necessário uma malha extremamente refinada e as malhas estruturadas permitem uma resolução mais fina dos que as não estruturadas.

Existem várias opções para a entrada ou saída de um fluido em um domínio computacional e podem ser especificadas por velocidade ou pressão. Como o objetivo do projeto é compreender a vazão pelo selo, as condições de entrada e saída foram especificadas pelas pressões conhecidas.

As simulações tiveram como objetivo principal avaliar o vazamento de topo, que ocorre através do selo mecânico de vedação. Além disso, verificar se este

vazamento é um dos principais causadores da redução de eficiência isoentrópica no expansor Scroll.

O modelo matemático utilizado para obter a validação foi elaborado por Lemort et al. [5]. Seu modelo prevê diversos fatores como potência mecânica e temperatura de saída do expansor, e pode ser descrito conforme a seguinte equação:

$$m = A\rho V \quad (1)$$

sendo que  $\rho$  é a densidade do fluido,  $A$  é a área de vazamento que pode ser descrita em função do diâmetro interno do selo  $D$  e da distância entre o selo e a tampa  $H$ .

A velocidade  $V$  é calculada em função da entalpia de entrada  $h_{su}$  e da entalpia na garganta  $h_{gr}$ :

$$V = [2(h_{su} - h_{gr})]^{0.5} \quad (2)$$

Já a entalpia na garganta  $h_{gr}$  pode ser definida pelas variáveis de entropia e pressão  $P_{gr}$  na garganta, que pode ser facilmente calculada em função da pressão de entrada  $P_{su}$ :

$$P_{gr} = P_{su} [2/(\gamma + 1) \exp \gamma/(\gamma - 1)] \quad (3)$$

### 3. Resultados

Aplicando o modelo matemático descrito acima e utilizando os mesmos parâmetros fornecidos ao software, foram obtidos os seguintes valores de velocidade  $V$  e pressão na garganta  $P_{gr}$ :  $V = 313,3$  m/s  $P_{gr} = 2,64$  bar, para  $P_{su} = 5$  bar e  $\gamma = 1,4$ .

O resultado obtido pelo software para o selo de 1,0 mm foi de 2,65 bar, valor bastante semelhante à  $P_{gr}$  igual a 2,64 bar calculado pelo modelo matemático, gerando um desvio de apenas 0,38% entre os resultados obtidos. Para a velocidade foi obtido um valor de 311,8 m/s para o selo de 1,0 mm, valor bastante próximo aos 313,3 m/s calculado através do modelo proposto, apresentando um desvio de apenas 0,47%.

A análise da figura 1 permite verificar que a velocidade aumenta ao longo do trajeto, algo previamente esperado devido à diferença de pressão entre a entrada e a saída. Isso também pode ser compreendido de forma algébrica ao analisar a equação 2, que comprova que quanto maior a diferença entre as entalpias de entrada e saída maior seria a velocidade.

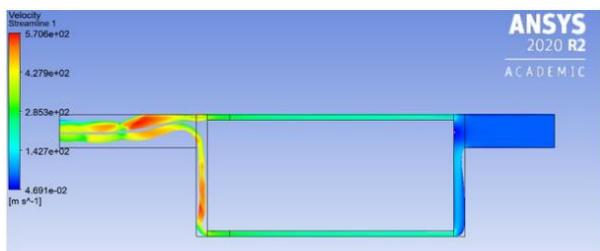


Figura 1 – Linhas de corrente

Era esperado que o posicionamento do selo influenciasse na vazão do fluido, considerando que a equação 1 indica que quanto maior a distância  $H$  entre o selo e a tampa maior a vazão. Numa segunda simulação, onde há maior distância entre o selo e a tampa do expansor, a vazão mássica foi de 0,00005188 kg/s, refletindo em um aumento de 3,65% em relação a simulação feita com o selo ao centro da canaleta. Já em

uma terceira simulação, a vazão diminuiu em relação à simulação inicial devido ao fato de o selo estar mais próximo da tampa do expansor, tendo vazões mássicas de 0,00004600 kg/s e diminuição de 8,11% em relação à primeira simulação. Portanto, o modelo matemático validou as simulações, quanto mais próximo o selo estava da superfície superior menor foi a sua vazão.

### 4. Conclusões

Alguns autores já haviam apresentado estudos sobre os vazamentos de topo e a sua influência em máquinas do tipo Scroll. Este projeto apresenta qualitativamente e quantitativamente a influência deste efeito no desempenho do Scroll, demonstrando estes resultados por simulação CFD.

O método computacional tornou possível diversas avaliações que não seriam vistas nem experimentalmente, nem matematicamente, como linhas de corrente, pontos de recirculação do fluido, distribuição de pressão e número de Mach ao longo da geometria estudada.

Foi comprovado que quanto mais próximo o selo estiver da tampa superior, menor o vazamento, tendo como resultados uma redução de aproximadamente 8% na vazão a cada aumento de 0,02 mm no posicionamento do selo dentro da canaleta.

As simulações se mostraram fisicamente uniformes e indicaram resultados satisfatórios e coerentes com os calculados pelo método matemático.

### 5. Referências

- [1] QUOILIN, Sylvain et al. Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 22, p. 168-186, 2013.
- [2] VENKATARAMANI, Gayathri et al. Experimental investigation on small capacity compressed air energy storage towards efficient utilization of renewable sources. **Journal of Energy Storage**, v. 20, p. 364-370, 2018.
- [3] CHEAYB, Mohamad et al. Modelling and experimental validation of a small-scale trigenerative compressed air energy storage system. **Applied energy**, v. 239, p. 1371-1384, 2019.
- [4] VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. Computational fluid dynamics. **The finite volume method**, p. 1-26, 1995.
- [5] LEMORT, Vincent et al. Testing and modeling a scroll expander integrated into an Organic Rankine Cycle. **Applied Thermal Engineering**, v. 29, n. 14-15, p. 3094-3102, 2009.

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI (CNPq). Projeto com vigência de 09/20 a 08/21.