

COMPARAÇÃO DA INTEGRAÇÃO DE CICLO RANKINE ORGÂNICO COM O REARRANJO DE CORRENTES TÉRMICAS DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO EM FRIGORÍFICOS

João Pedro Gentilin Pineli (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Márcio Higa (Orientador).
E-mail: ra113526@uem.br , mhiga@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Área: Engenharia

Subárea: Engenharia Mecânica

Palavras-chave: Ciclo Rankine Orgânico; Refrigeração; Compressão a vapor.

RESUMO

Para melhorar a eficiência térmica em um sistema de refrigeração de um frigorífico, compara-se neste trabalho a integração do ciclo Rankine Orgânico (ORC) ao sistema com o rearranjo da planta original. Na primeira opção, o ORC é integrado na planta por meio da recuperação de calor saindo da compressão de alta pressão, simulando as condições ideais para a obtenção do trabalho máximo do ORC, e respeitando-se as diferenças mínimas de temperatura para transferência de calor. Na segunda opção, foram mapeados os pontos do sistema de refrigeração original do frigorífico, buscando-se a melhor redistribuição das correntes térmicas do fluido refrigerante amônia entre diferentes níveis de pressão e demandas de refrigeração. Comparando os resultados, observa-se na segunda opção, que a planta com rearranjo apresenta uma economia de 123 kW, enquanto a potência gerada pela turbina do ORC da primeira opção foi de aproximadamente de 95 kW.

INTRODUÇÃO

O Ciclo Rankine Orgânico (ORC) de potência é uma alternativa para melhorar a eficiência dos ciclos termodinâmicos, pois com ele é possível gerar trabalho com o calor residual gerado pelo próprio complexo de ciclos de refrigeração. O sistema se considerado individualmente tem sua eficiência baixa, porém, quando combinado com o sistema de refrigeração por compressão a vapor (RCV) torna-se uma ferramenta viável para captar a energia perdida e transformá-la em trabalho (Aktemur e Hacipasaoglu, 2021, p. 15–39).

Embora a aplicação de novas tecnologias como o ORC aumente o desempenho térmico dos ciclos de refrigeração, é muito importante melhorar a eficiência destes ciclos por meio do gerenciamento adequado da energia consumida em um sistema existente (Mota-Babiloni *et al.*, 2022 p.257–271; Li *et al.*, 2023, p.120644). Neste contexto, o presente trabalho compara a opção da implantação de um Ciclo Rankine Orgânico com o rearranjo das correntes térmicas e de componentes do sistema original de distribuição do fluido refrigerante, procurando reduzir a demanda de potência compressão do ciclo.

MATERIAIS E MÉTODOS

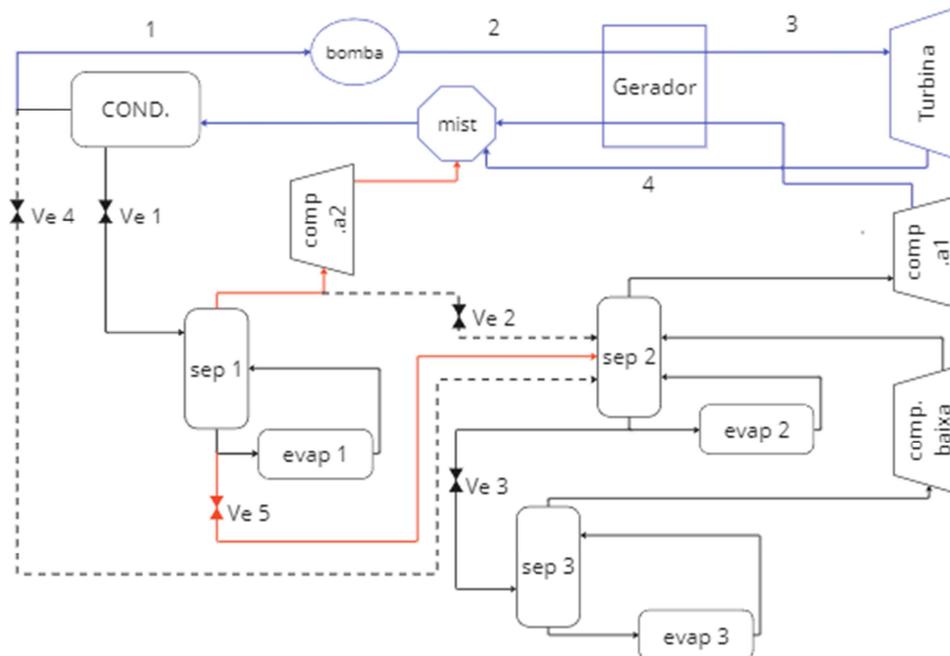


Figura 1 – Ciclo ORC integrado

Na fig. 1 o ciclo original está representado em linha preta, a integração do ORC em linha azul e opção com o rearranjo do fluxo de amônia representada em linha vermelha, retirando-se as linhas tracejadas nesta última opção. Além da pressão do condensador, no sistema existem três diferentes níveis de pressão dos evaporadores (evap 1, 2 e 3), com quatro válvulas de expansão (ve 1-4) para a queda de pressão e dois compressores para a elevação da pressão entre evap 3 e 2 (comp. Baixa) e entre evap 2 e condensador (comp. a1).

A planta original, a planta com integração do ORC e o sistema com as alterações dos fluxos foram analisadas considerando as cargas térmicas dos evaporadores e as pressões e temperaturas em cada ponto (Tabela 1).

Tabela 1 - Pressões, temperaturas e cargas térmicas dos evaporadores e condensador

Componente	P (bar)	T (°C)	Qevaporação (kW)
Condensador	13,5	35	-
Evaporador 1	4,3	0	1836
Evaporador 2	3,5	-10	2669
Evaporador 3	0,7	-40	4889

Para a integração do ORC, o objetivo foi recuperar parte do calor em alta temperatura que sai do compressor para gerar vapor de alta pressão de amônia que se expande e gera potência na turbina. Neste caso, para que o ciclo seja viável, todas as trocas de calor devem respeitar a diferença mínima de temperatura (ΔT_{\min}) de 5 K para que ocorra a transferência de calor (Sarkar. 2018, p. 141-150), sabendo que quanto mais calor é trocado no boiler, maior será o trabalho gerado.

Para a opção de se fazer um rearranjo da planta, considerando que há três quedas de níveis de pressão, com 4 válvulas expansão (ve 1-4), a proposta foi eliminar a expansão direta do condensador para o *evap 2* por meio da válvula *ve 4*. Para isso, a queda de pressão deve ser escalonada de todo condensado, primeiro expandindo por *ve 1* da pressão do condensador para o *evap 1* e depois para o *evap 2* por meio da inclusão de *ve 5*. Para a elevação de pressão, considerando que há três aumentos de pressão, adiciona-se um novo compressor, entre o *evap 1* e o condensador e, elimina-se a válvula de expansão *ve 2*. Assim ao invés do vapor saindo do separador 1, reduzir a pressão para o nível da evaporação 2 e depois aumentar novamente para a pressão de condensação no compressor de alta (*comp. a1*), a compressão ocorre diretamente no novo compressor (*comp. a2*).

As análises foram realizadas com o software EES (*Engineering Equation Solver*), aplicando-se os balanços de massa e energia, considerando o regime permanente e desprezando-se as variações de energia cinética e potencial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização das simulações, verificou-se melhorias em ambas as situações aplicadas nesse trabalho. Para a integração do ORC. As propriedades que apresentaram a melhor performance são apresentadas tabela 2 para a vazão kg/s no ORC.

Tabela 2 - Pressão do ORC

Ponto	1	2	3	4
P (bar)	13,5	35,5	35,5	13,5
T (K)	308,1	308,9	384,3	315

Para o rearranjo dos ciclos, o trabalho economizado foi calculado com a diferença entre os trabalhos totais dos compressores em cada planta, assim, tabela 3 ilustra quais foram os dados economizados.

Tabela 3 – Demanda de potência e COP dos sistemas propostos

Planta	$\dot{W}_{\text{compressores}}$ (kW)	\dot{W}_{gerada} (kW)	\dot{W}_{liq} (kW)	\dot{W}_{cono} (kW)	COP
Original	3191	0	3191	-	2,944
ORC	3068	95	3096	95	
Rearranjo	3068	-	3068	123	3,062

CONCLUSÕES

As análises feitas no ciclo de refrigeração mostraram que ambas as opções estudadas geram economia de energia. Entretanto, observa-se que a opção que gerou mais economia de trabalho foi o rearranjo do sistema de refrigeração, reduzindo 123 kW de potência contra a obtenção de aproximadamente 95 kW no ORC. Porém, a aplicação do ORC não deve ser descartada por gerar força de trabalho, ao passo que o rearranjo nos oferece somente a economia de energia, demandando algumas mudanças no ciclo de refrigeração. Portanto, é necessário avaliar a realidade de cada situação, verificando qual a opção mais viável para a planta existente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação Araucária e a Capes pelo apoio para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AKTEMUR, C.; HACIPASAOGLU, G. Assessment of an integrated organic rankine cycle (orc)-vapor compression refrigeration (vcr) system using the energy, conventional exergy, and advanced exergy analysis. **Heat Transfer Research**, v. 52, n. 15, p. 15–39, 2021.

LI, X. et al. Feasibility investigation on a novel rack-level cooling system for energy-saving retrofit of medium-and-small data centers. **Applied Thermal Engineering**, v. 229, p. 120644, jul. 2023.

MOTA-BABILONI, A. et al. Semi-empirical analysis of HFC supermarket refrigeration retrofit with advanced configurations from energy, environmental, and economic perspectives. **International Journal of Refrigeration**, v. 137, p. 257–271, 1 maio 2022.

SARKAR, Jahar. Generalized pinch point design method of subcritical-supercritical organic Rankine cycle for maximum heat recovery. **Energy**, [s. l.], v. 143, p. 141-150, 15 jan. 2018.