

## ESTUDO DO POTENCIAL DE IMPLEMENTAÇÃO DE CICLOS ORC

**Jean Ribeiro de Souza Fernandes** ([jeanribeiro.engmec@gmail.com](mailto:jeanribeiro.engmec@gmail.com))

Aluno de graduação do curso de Engenharia Mecânica

**João Paulo Calixto da Silva** ( [joao.cs@fsjb.edu.br](mailto:joao.cs@fsjb.edu.br) )

Professor Orientador

### RESUMO

O presente trabalho propõe o estudo do potencial de implementação de ciclos ORC (Ciclo Rankine Orgânico), tendo como objetivo principal analisar o potencial energético de uma indústria da região para implantação de Ciclos Rankine Orgânicos. O Ciclo Rankine Orgânico se trata de uma adaptação do Ciclo Rankine a Vapor, sendo que a principal diferença entre eles é o fluido de trabalho que será utilizado. No ORC o fluido de trabalho é o fluido orgânico (refrigerante e hidrocarbonetos), diferente do Ciclo Rankine a Vapor que o fluido de trabalho é o vapor d'água. Para a execução desse trabalho adotou-se a metodologia de levantar a demanda energética de uma indústria da região, em seguida, aplicar o balanço de massa e o de energia para o cálculo da rejeição de calor da caldeira e, de posse dessas informações, analisar a viabilidade técnica de implantação dos ORC's, em comparação à resultados encontrados na literatura. Os resultados apontam para um cenário positivo no sentido do aproveitamento da energia atualmente desperdiçada na caldeira, para aproveitamento em um ORC.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ciclo Rankine Orgânico; ORC; Potencial energético.

### 1 – INTRODUÇÃO

Novas tecnologias de conversão de energia são necessárias para aproveitar recursos energéticos apropriados para a produção de eletricidade sem causar danos ambientais. As fontes de calor de baixa temperatura são consideradas recursos energéticos do futuro, sendo elas: Solar térmica, energia geotérmica e desperdícios de calor da indústria são exemplos típicos de fontes de calor de baixa entalpia com temperaturas a variar entre 60 e 200°C [1].

Com base nos dados da Agência Internacional de Energia prevê-se que até 2030 o crescimento da procura de energia elétrica será de 119% no setor residencial, 97% nos serviços e 86% na indústria. Para a solução desse problema energético nas indústrias, uma proposta viável é a implementação do Ciclo Rankine Orgânico (ORC), já que, através de tal implantação, a energia térmica que normalmente é desperdiçada em rejeitos como chaminés, pode ser direcionada como fonte de energia primária para o ciclo ORC.

Comparando o (ORC) Ciclo Rankine Orgânico com o Ciclo Rankine a vapor para pequenas escalas de geração de energia, chegando à potência 3MW, algumas vantagens são destacadas pelo uso da tecnologia ORC em detrimento aos Ciclos Rankine tradicionais para fontes de calor de baixas temperaturas [7].

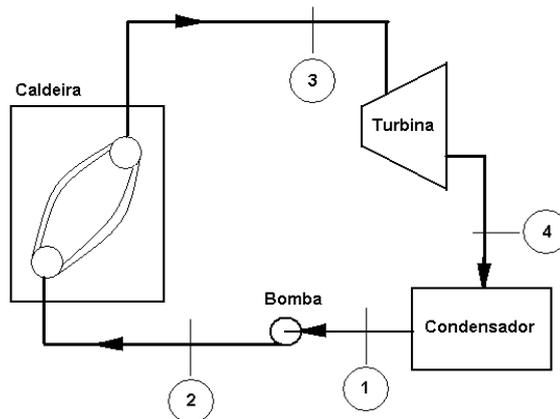
Dentre as principais diferenças apresentadas, são que os ORCs podem ser operados com baixas pressões e, mesmo desse modo, alcançar uma eficiência superior do que o ciclo a vapor tradicional. Vale ressaltar que o ciclo ORC tem como benefício de que não precisa de um superaquecimento, sendo que a maioria dos fluidos trabalhados são fluidos secos, fluidos orgânicos que contribuem para as menores dimensões necessárias para o sistema [8].

Dado o potencial de uso do ORC nas indústrias e diante do cenário de escassez de opções na matriz energética brasileira, este trabalho apresenta uma revisão sobre as potencialidades do Ciclo Orgânico, bem como uma breve simulação da análise de viabilidade energética para implantação em uma indústria siderúrgica da região.

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Ciclo Rankine Orgânico se trata de uma adaptação do Ciclo Rankine a Vapor, sendo que a principal diferença entre eles é o fluido de trabalho que será utilizado. No ORC o fluido de trabalho é o fluido orgânico (refrigerante e hidrocarbonetos), diferente do Ciclo Rankine a Vapor que o fluido de trabalho é o vapor d'água. O calor latente de vaporização e a temperatura de ebulição dos fluidos de trabalho em um ciclo ORC são muito inferiores ao da água, permitindo a circulação de uma maior vazão do fluido no circuito, o que provoca um melhor aproveitamento da fonte térmica [7].

O Ciclo Rankine Orgânico apresenta a mesma configuração estrutural de um Ciclo Rankine a Vapor, podendo identificar-se na Figura 1, os principais componentes e processos termodinâmicos deste ciclo (QUOILIN, 2009, ÇENGEL, 2001):



1-2: Compressão isentrópica na bomba

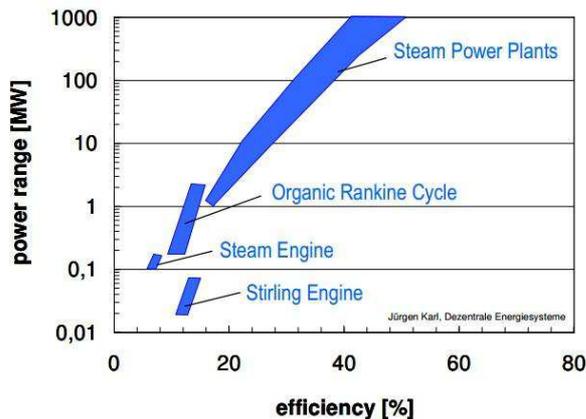
2-3: Adição de calor a pressão constante na caldeira (evaporador)

3-4: Expansão isentrópica na turbina

4-1: Rejeição de calor a pressão constante no condensador

**Figura 1** - Diagrama do Ciclo Rankine ideal e seus processos termodinâmicos (LACHI, 2014).

O Ciclo Rankine Orgânico tem um papel de destaque em meio às outras tecnologias e ciclos, uma vez que possibilita o aproveitamento térmico do calor cedido/rejeitado, ou proveniente de uma fonte de baixa-média temperatura, convertendo em energia elétrica. Logo, pode funcionar como ciclo de fundo numa instalação de ciclo combinado, ou como instalação principal, fazendo o aproveitamento térmico diretamente de uma fonte quente [4]. A figura 2 apresenta uma comparação entre ciclo ORC e outros ciclos termodinâmicos usuais na indústria.



**Figura 2** – Gráfico Gama de potência x eficiência para diferentes máquinas térmicas (SPLIETHOFF & SHUSTER, 2006).

Para o trabalho de Lozano et al.(2016) sobre recuperação de calor por ciclo ORC ,teve como base que para a confecção do projeto, ele comparou três fluidos de trabalho, o primeiro fluido analisado foi o ciclopentano que obteve uma potência no ciclo de 33,95 kW, já o segundo fluido que foi o Tolueno obteve uma potência de 34,40 kW, e no ultimo fluido o Decano, se encontrou uma potencia de 31,15 kW

no ciclo. A variação de potência ser dar devido à temperatura que os fluidos são trabalhados, ressaltando que a vazão mássica foi igual para todos os fluidos analisados.

### 3 – METODOLOGIA DO TRABALHO

A proposta da simulação trata-se de aproveitar os gases que são rejeitados pela chaminé da caldeira da indústria onde o trabalho foi realizado. A tabela 1 apresenta os parâmetros mais significativos para a realização análise.

Tabela 1 – Dados de Gases rejeitados pela chaminé	
Caldeira Entrada	
Temperatura:	339°C
Pressão:	25,55 bar
Vazão:	3,8939 kg/s

Fonte: Autor (2018)

Após a coleta dos dados foi realizado um balanço de massa e balanço de energia para examinar o volume de controle da caldeira para verificação do potencial energético rejeitado e posterior análise do uso de tal rejeito como fonte de energia para um ciclo ORC hipotético.

A equação 1 foi modelada para a realização do balanço na caldeira, conforme os pontos de entrada e saída determinados no volume de controle da figura 3.

$$\sum me - \sum ms = 0 \quad (1)$$

me - Vazão mássica de entrada em um volume de controle;

ms- Vazão mássica de saída em um volume de controle.

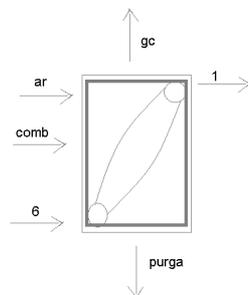


Figura 3- Ilustração da caldeira (Mai et al. 2016)

Após aplicação do balanço de massa, foi aplicado um balanço de Energia, conforme descrito na equação 2.

$$\sum me \cdot he - \sum ms \cdot hs + Qvc - Wvc = 0 \quad (2)$$

he - Entalpia do fluido de trabalho que entra no volume de controle;

hs - Entalpia do fluido de trabalho que sai do volume de controle;

Qv. c. - Taxa de transferência de calor em um volume de controle;

Wv. c. - Taxa de realização de trabalho no volume de controle;

A partir das Equações 1 e 2 foi possível determinar, o fluxo mássico na caldeira e o calor gerado no volume de controle dela, que foram as bases para análise do potencial energético para implementação de um ORC na planta em questão.

#### 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base no trabalho de Silva e Cao, foram obtidas as entalpias de vapor de saída, e como entalpia de entrada considerou-se a entalpia da própria caldeira fornecida pelo catálogo técnico da empresa. Com os cálculos propostos na metodologia, foi verificado se a quantidade de calor que é desperdiçado é suficiente para aquecer a caldeira do ciclo ORC e, conseqüentemente, produzir uma potência suficiente para alguma demanda industrial. Os valores encontrados, com base nas equações e considerações feitas estão apresentados na tabela 2.

<b>TABELA 2- Resultados e Dados analisados</b>	
<b>Tabela de dados Termodinâmicos</b>	
<b>Entalpia de Entrada:</b>	357,9 KJ/kg
<b>Entalpia de saída:</b>	3036,96KJ/kg
<b>Vazão Mássica:</b>	3,768 kg/s
<b>Energia do Gás de Escape:</b>	10096,59 KW
<b>Potencia Produzida:</b>	2,34 MW

**Fonte:** Autor (2018)

Com base nos dados e em consulta a literatura, foi possível verificar a viabilidade da implementação do ciclo ORC . Os valores encontrados com base no balanço apontam para uma vazão de 3,768 kg/s o que resultaria numa disponibilidade energética de 2,34 MW.

Considerando que os Ciclos Rankine Orgânicos possuem um rendimento médio de 20% [1,2,3,4], estima-se uma potência líquida de 0,468 MW a ser produzida por um turbina. Esse valor é consistente com os valores apresentados por Carrasco et. Al (2015) o que aponta para uma possibilidade de viabilizar a implementação do ORC na indústria alvo do presente trabalho. Importante destacar que para comprovação da viabilidade um estudo energético mais aprofundado é necessário, inclusive utilizando ferramentas como a análise de segunda lei da termodinâmica e a termoeconomica.

#### 5 – CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, pode-se constatar que há um potencial energético a ser explorado. O estudo mais detalhado da implementação de um ORC na usina estudada é pertinente, uma vez que a análise energética aponta para um valor satisfatório em consonância com a literatura.

#### 6 – REFERÊNCIAS

- [1] – CARLÃO, R., “Projeto de um ciclo de Rankine Orgânico para produção de 200kWe”, Projeto Final de Graduação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.
- [2] CENGEL, Y., BOLES, M.; Termodinâmica; Terceira Edição; McGraw Hill; 2001; pp. 555-593;
- [3] LOZANO, J.C. R et al. Geração de Metano Sintético por reatores Sebatier e Recuperação de calor por ORC. 2016.10p. Iniciação Científica (Engenharia Mecânica)- Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2016.
- [4] MASCARENHAS, M.M. (2014). Analise Da Viabilidade Técnica E Econômica Da Implantação De Sistemas De Cogeração Operando Com Um Ciclo Rankine Orgânico. Rio de Janeiro: UFRJ
- [5] MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. Princípios de termodinâmica para engenharia. 6 ed. LTC, 2009.
- [6] QUOILIN, S., LEMORT, V.; “Technological and Economical Survey of Organic Rankine Cycle Systems”; 5th European Conference Economics and Management of Energy in Industry; 2009, Thermodynamis Laboratory – University of Liège;
- [7] – VANKEIRSBILCK I.; VANSLAMBROUCK B.; GUSEV S.; “Energetical, Technical and Economical considerations by choosing between a Steam and an Organic Rankine Cycle for Small Scale Power Generation”, Proc. ORC 2011: First International Seminar on ORC Power Systems, Delft (Holanda). 2011
- [8] WENZEL, T.A. (2015). Analise Termodinâmica E Simulação De Um Ciclo Rankine Orgânico(ORC).Porto Alegre:UFRGS.