

Feasibility of Boiler Implementation in the Production Process of a Cosmetic Industry

Viabilidade de Implementação de Caldeira no Processo Produtivo de uma Indústria Cosmética

Article Info:

Article history: Received 2022-10-20 / Accepted 2023-01-01/ Available online 2023-01-01

doi: 10.18540/jcecv19iss2pp15138-01e



Roni Júnior Simplicio Marques

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8079-8849>

Federal University of Viçosa, Brazil

E-mail: roni.marques@ufv.br

Júlio César Costa Campos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9488-8164>

Federal University of Viçosa, Brazil

E-mail: julio.campos@ufv.br

Álvaro Messias Bigonha Tibiriçá

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3300-1988>

Federal University of Viçosa, Brazil

E-mail: alvaro.tibirica@ufv.br

Vanderson da Silva Rezende

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8585-6662>

Adequar Engenharia, Brazil

E-mail: adequarmg@gmail.com

Antonio Marcos de Oliveira Siqueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9334-0394>

Federal University of Viçosa, Brazil

E-mail: antonio.siqueira@ufv.br

Resumo

Este trabalho tem por finalidade apresentar um estudo da viabilidade de implementação de uma caldeira de geração de vapor no processo produtivo de uma fábrica de cosméticos capilares. Para isso foi realizada uma pesquisa bibliográfica das variáveis que influenciam no processo. Posteriormente um estudo de caso com coleta e tratamento de dados e informações fornecidas pela fábrica foi obtido. Calculou-se a demanda energética mensal da fábrica e o custo do atual processo para manutenção das produções e comparou-se os resultados encontrados com o processo que se deseja implementar. Para a tomada de decisão de implementação, levando-se em consideração o retorno financeiro do investimento do projeto, utilizou-se as ferramentas matemáticas do Valor Presente Líquido – VPL e payback. A redução da quantidade de energia consumida na fábrica é de suma importância para seu desenvolvimento sustentável a fim de reduzir os gastos e contribuir economicamente para um melhor custo-benefício de operacionalização, tendo em vista as altas taxas de custo de energia elétrica no Brasil. O projeto de implementação da caldeira alcançou resultados diferentes dos previstos inicialmente, no entanto, conseguiu-se uma alternativa economicamente satisfatória para a fábrica.

Palavras-chave: Caldeira industrial. Transferência de calor. Análise Financeira. Indústria Cosmética.

Abstract

This work aims to present a study of the feasibility of implementing a steam generation boiler in the production process of a hair cosmetics factory. For that, bibliographic research of the variables that influence the operation was carried out. Later, a case study with the collection and treatment of data and information provided by the factory was obtained. The monthly energy demand of the factory and the cost of the current process for maintenance of productions was calculated and the results were compared with the process to be implemented. To make the implementation decision, taking into account the financial return on the project's investment, the mathematical tools of Net Present Value - NPV and payback were used. Reducing the amount of energy consumed in the factory is fundamentally important for its sustainable development in order to reduce costs and contribute economically to a better cost-benefit of operation, given the high cost of electricity in Brazil. The boiler implementation project achieved results different from those initially expected, however, an economically satisfactory alternative was achieved for the factory.

Keywords: Industrial boiler. Heat transfer. Financial analysis. Cosmetic Industry.

1. Introdução

Situada no interior de Minas Gerais e em operação desde o ano de 2008, a indústria de cujo trabalho far-se-á o estudo de caso e otimização do processo produz cosméticos capilares para cuidados e beleza da mulher e bem-estar dos fios. A grande parte dos produtos fabricados requerem a chamada “fase quente”, termo adotado pelos operadores da empresa para a parte em que as matérias-primas são aquecidas para solubilização e homogeneização dentro dos tanques misturadores. A temperatura de trabalho alcançada não ultrapassa os 80°C, sendo classificada como um segmento fabril que não necessita de demanda energética elevada.

Tem-se a necessidade do estudo do processo produtivo de uma indústria de cosméticos capilares de forma a otimizar o seu sistema de aquecimento para reduzir gastos com energia elétrica e assim melhorar o custo-benefício das operações, minimizando possíveis desperdícios e contribuindo para práticas de fabricação de maneira mais sustentável.

2. Referencial Teórico

2.1 Conceitos Iniciais

A forma mais empregada para assegurar o fornecimento do calor necessário à produção de vapor é por meio da queima de algum combustível, como gás combustível ou lenha. Interessa, portanto, apresentar os combustíveis e seu processo de fornecimento de calor, do ponto de vista das reações envolvidas e da geração de energia térmica, que se associam diretamente ao impacto ambiental e à eficiência energética na produção de vapor (Eletrobrás, 2005).

Tendo em vistas as disponibilidades dos mais diversos tipos de combustíveis no âmbito da região onde se encontra instalada a indústria, e por recomendação da fornecedora da caldeira definiu-se o Gás Liquefeito de Petróleo – GLP (mistura de propano e butano) cujo poder calorífico é de 11.100 kcal/kg segundo dados da Eletrobrás (2005).

2.2 Caldeiras Industriais

Chama-se caldeira o equipamento que ferve a água gerando o vapor em um ambiente fechado (com pressão, portanto) e envia esse vapor (temperatura por volta de 150°C) por linhas de tubulações de vapor para os vários pontos de consumo (Botelho; Bifano, 2011).

Segundo a Norma Regulamentadora nº 13 (NR-13) (Brasil, 2022), as caldeiras industriais a vapor são equipamentos que se destinam a produzir e armazenar vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando-se de determinada fonte de energia, e que são projetadas conforme códigos pertinentes e aplicáveis.

De acordo com a NR-13, Portaria nº 1.846 de 1º de julho de 2022, as caldeiras são classificadas em duas categorias, de acordo com a sua pressão de operação:

Caldeiras de categoria A: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1.960 kPa (19,98 kgf/cm²);

Caldeiras da categoria B: são aquelas cuja pressão de operação seja superior a 60 kPa (0,61 kgf/cm²) e inferior a 1.960 kPa (19,98 kgf/cm²).

As caldeiras aquatubulares se caracterizam pela circulação externa dos gases de combustão e os tubos conduzem massa de água e vapor. (...) As caldeiras aquatubulares são de utilização mais ampla, pois possuem vasos pressurizados internamente e de menores dimensões relativas. Isso viabiliza econômica e tecnicamente o emprego de maiores espessuras e, portanto, a operação em pressões mais elevadas (Altafini, 2002).

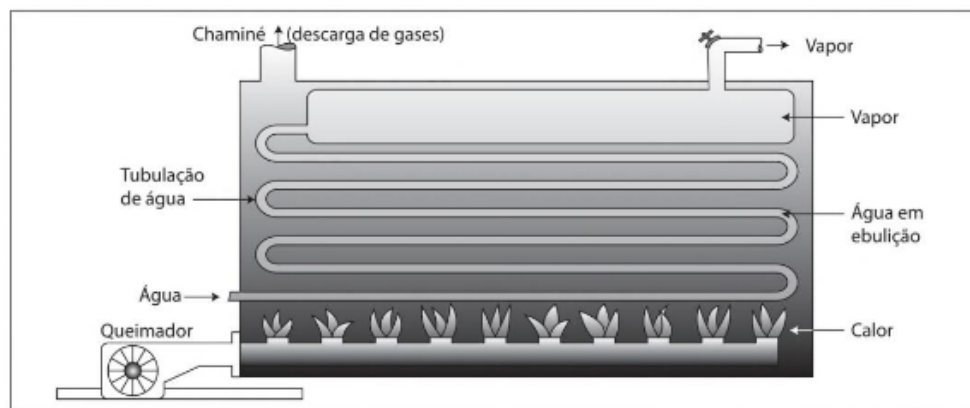


Figura 1 – Modelo de caldeira aquatubular (Botelho; Bifano, 2011).

As caldeiras flamotubulares são também chamadas de *tubo-de-fogo*, *tubo-de-fumaça* ou *pirotubular*, por causa dos gases quentes provenientes da combustão que circulam no interior dos tubos em um ou mais passes, ficando a água por fora dos tubos. De construção simples, mesmo com o aparecimento de caldeiras mais modernas ainda continua em uso. Posteriormente, com alguns aperfeiçoamentos, passou a chamar-se caldeira escocesa (Eletrobrás, 2005).

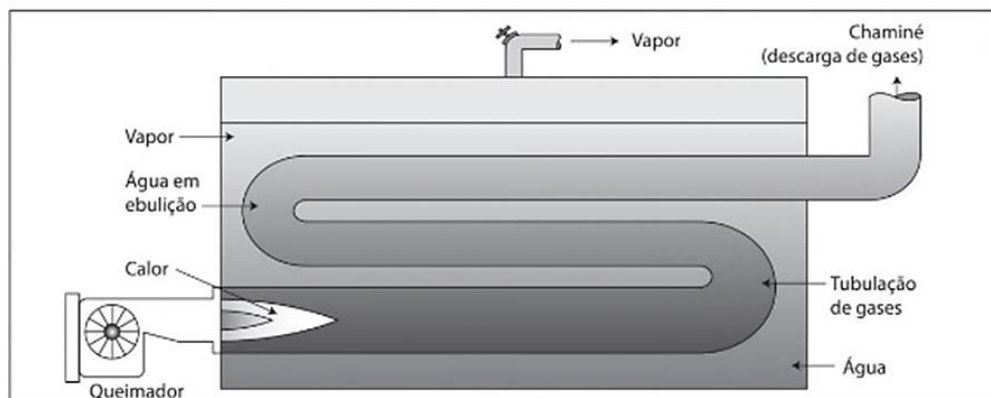


Figura 2 – Modelo de caldeira flamotubular (Botelho; Bifano, 2011).

A maioria das caldeiras possuem eficiência que gira em torno de 65% a 85%, desses, de 15% a 35% de energia são perdidos ou desperdiçados, devendo-se buscar medidas assertivas que diminuam essa perda. Algumas dessas perdas são inevitáveis, mas algumas podem ser recuperadas, tornando o processo mais eficiente (CIBO, 1997).

2.3 Transferência de Calor

Transferência de calor (ou calor) é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço. Sempre que existir uma diferença de temperaturas em um meio ou entre meios, haverá, necessariamente, transferência de calor (Incropera *et al.*, 2008).

Segundo Incropera, et al. (2008) o calor se propaga de três formas distintas conhecidas como modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação. Quando existe um gradiente de temperatura em um meio estacionário, que pode ser um sólido ou um fluido, a transferência de calor se dá pelo modo da condução. O termo convecção se refere à transferência de calor que ocorrerá entre uma superfície e um fluido em movimento quando eles estiverem a diferentes temperaturas. O terceiro modo de transferência de calor, radiação, define que superfícies com temperaturas não nulas emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas (Incropera *et al.*, 2008).

A condução pode ser vista como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas de uma substância devido às interações entre partículas e é dada pela Equação 1 (Incropera *et al.*, 2008):

$$q = -kc * A * \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

onde q é a taxa de transferência de calor, em [W]; kc é a condutividade térmica do material, em [W/(m * K)]; A é a área de troca térmica, em [m²]; ΔT é a diferença de temperatura, em [K]; Δx é a distância percorrida pelo fluxo de calor (espessura da parede), em [m].

Para sistemas radiais, a expressão matemática para a taxa de transferência de calor, utilizando a lei de Fourier é dada pela Equação 2 (Incropera *et al.*, 2008). Este modelo será útil para o cálculo da taxa de transferência de calor nos tanques de formatos cilíndricos.

$$q = \frac{2 * \pi * L * kc * (\Delta T)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)} \quad (2)$$

onde L é o comprimento do sistema radial, em [m]; r_e é o raio externo, em [m]; r_i é o raio interno, em [m].

2.4 Isolamento Térmico

Com ampla aplicação na engenharia, os isolantes térmicos são selecionados em função de aspectos que variam de econômicos até funcionais e inclusive de segurança. A função primária de um isolante térmico é reduzir a taxa de transferência de calor entre um sistema e o meio, de modo que a energia possa ser conservada. Para isso, partes dos sistemas térmicos devem ser revestidos com material que possua propriedades e espessuras tais que a temperatura se mantenha dentro de determinado intervalo (Torreira, 1980).

Na escolha de determinado material para isolamento térmico, costuma-se utilizar o termo “resistência à transferência de calor”. Essa resistência, conhecida pelos engenheiros como resistência térmica R, leva em consideração a condutividade do material isolante kc e sua espessura x, denotada matematicamente pela Equação 3, para um fluxo de calor em uma parede plana por condução (Incropera *et al.*, 2008).

$$R = \frac{x}{A * kc} \quad (3)$$

onde R é a resistência térmica, em [K/W].

À semelhança da parede plana, para sistemas radiais a expressão matemática para a resistência térmica, é denotada pela Equação 4 (Incropera *et al.*, 2008).

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2 * \pi * kc * L} \quad (4)$$

onde R é a resistência térmica, em [K/W]; L é o comprimento do sistema radial, em [m].

Para o caso de paredes planas em série compostas por materiais diferentes com um bom contato térmico, a resistência térmica equivalente R_{eq} é dada pela soma das contribuições de cada resistência separadamente R_i de acordo com a Equação 5 (Çengel; Ghajar, 2012). A mesma analogia pode ser feita para sistemas radiais de paredes em série.

$$R_{eq} = \sum R_i = \sum \frac{L_i}{A * kc_i} \quad (5)$$

De acordo com Kreith e Bohn (2013) e Incropera *et al.* (2008), o fluxo total de calor que atravessa uma parede composta por múltiplas camadas é definido matematicamente pela Equação 6.

$$q'_{total} = \frac{\Delta T_{total}}{R_{eq}} \quad (6)$$

onde q'_{total} é o fluxo total de calor, em [W/m²]; ΔT_{total} é a diferença de temperatura, em [K]; R_{eq} é a resistência térmica equivalente, em (K/W).

Neste trabalho levou-se em consideração a utilização do isolante térmico Poliuretano ($kc = 0,023$ W/m*K (Silva, 2013)) para o estudo de caso. Tal escolha se baseia nas melhores condições de operação para a empresa e no custo-benefício empregado por tal material por meio de orçamento previamente solicitado para o fornecedor.

2.5 Viabilidade Financeira

Avaliar a viabilidade de um investimento é imprescindível para a tomada de decisões de um gestor, proprietário ou acionistas. É possível que o tomador de decisões identifique se o investimento (projeto) irá agregar ou não valor à organização (Fanti; Nascimento Filho; Dias, 2015).

A análise econômica financeira é o momento em que uma empresa analisará a sua capacidade de pagamento. É um processo de interpretação das informações disponíveis que derivam de relatórios, indicadores, observação de tendências e alinhamento com a política estratégica (Silva, 2010).

Neste trabalho será avaliado o retorno de investimento por meio do valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e tempo de *payback*.

2.5.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido é o valor presente das entradas líquidas de caixa menos o valor presente das saídas de caixa para investimento, descontadas ao custo de capital da empresa (Cherobim; Lemes Júnior; Bigo, 2016). O VPL é um dos métodos que levam em consideração o fluxo de caixa descontado. É um dos métodos mais utilizados pelas empresas e quanto maior for o seu valor, melhor será o projeto (Klann; Tomasi, 2010).

A avaliação pelo método do VPL é uma análise que tem como fatores de ponderação: as compensações do fluxo de caixa, benefícios futuros e valores finais em termos de valor presente equivalente. Essa avaliação permite aos tomadores de decisão quantificar a liquidez do saldo que determina a natureza das compensações econômicas e financeiras envolvidas (Helfert, 2000).

Se o valor do VPL for positivo, o projeto deve ser aceito, do contrário, deve ser rejeitado (Klann; Tomasi, 2010). A expressão matemática para o VPL é dada pela Equação 7 (Samanez, 2009):

$$VPL = -IN + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + Kk)^{te}} \quad (7)$$

onde IN o investimento inicial; FC_t é o fluxo de caixa na data te ; Kk é o custo de capital definido pela empresa.

2.5.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Taxa Interna de Retorno: É a taxa de retorno que iguala o fluxo de caixa ao valor a investido projeto (Cherobim; Lemes Júnior; Bigo, 2016). A taxa interna de retorno de um investimento é a maior taxa de retorno do fluxo de caixa, porque outra acima dela torna o VPL negativo. Com a TIR procura-se determinar uma única taxa de retorno para sintetizar os méritos de um projeto. Esta taxa é dita “interna”, pois depende somente dos fluxos de caixa de certo investimento e não de taxas oferecidas em algum outro lugar. Quanto maior for a TIR, melhor o projeto (Klann; Tomasi, 2010).

A expressão matemática para o cálculo da TIR é dada pela Equação 8 (Samanez, 2009):

$$VPL = -IN + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + i)^{te}} = 0 \quad (8)$$

2.5.3 Tempo de Payback

O *payback* é o método que representa o tempo médio em anos para recuperar o investimento inicial (Brigham; Gapenski; Ehrhardt, 2001 apud Klann; Tomasi, 2010). Ele é um método bastante utilizado no meio financeiro por contar o tempo necessário para que o capital investido seja recuperado por meio de benefícios (Neto, 2008 apud Klann; Tomasi, 2010).

A expressão matemática para o cálculo do tempo T para o retorno do investimento é dado pela Equação 9 (Samanez, 2009):

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1 + i)^{te}} \quad (9)$$

3. Estudo de Caso

O estudo de caso ocorreu em uma empresa de pequeno porte no ramo de cosméticos capilares. Primeiramente foi feito o levantamento de dados sobre o circuito elétrico operante dos tanques misturados em que se deseja implementar o sistema de aquecimento por vapor. Os cálculos de consumo e gasto de energia elétrica com base nos dados levantados e na tarifação de energia elétrica brasileira foram feitos considerando o período de um mês de operação na empresa.

Por fim, orçou-se uma caldeira do tipo flamotubular, pela fornecedora ECAL®, e com base em pesquisas de gastos com implantação, manutenção, sistema de tratamento de água, combustíveis e mão de obra, foi feito um estudo de viabilidade econômica do projeto.

3.1 O Processo Atual

O processo atual da empresa conta com 4 (quatro) tanques misturadores onde ocorrem a maioria das produções dos cosméticos capilares, em batelada, de acordo com a Tabela 5. Cada um desses tanques possuem uma camisa de troca térmica onde está instalada um sistema de aquecimento por resistência elétrica. O fluido utilizado nessas camisas é a água potável. A Figura 1 ilustra a disposição dos tanques na empresa.



Figura 3 – Disposição dos tanques de produção na empresa (da esquerda para a direita: RE-001, RE-002, RE-003 e MI-001) (Fonte: A empresa)

Grande parte dos produtos fabricados pela empresa é de natureza hidrossolúvel, sendo a água constituindo de 60% a 80% do percentual das matérias-primas utilizadas nas produções. Os produtos de caráter lipossolúvel como os óleos capilares não necessitam de aquecimento, sendo fabricados em um tanque misturador a parte sem resistência elétrica.

3.2 Consumo de Energia Elétrica

Para o cálculo da energia elétrica consumida pela empresa pelo uso dos tanques misturadores para aquecimento da água, levou-se em consideração as informações técnicas obtidas pelos manuais dos fornecedores dos tanques misturadores, aos quais contêm dados dos circuitos elétricos das resistências instaladas em cada tanque.

Foi feito um levantamento na empresa com o operador dos tanques e consulta às Ordens de Produção da quantidade de tempo por produção, em média, que cada um dos reatores opera com as resistências ligadas para aquecimento da água do tanque até 80°C para solubilizar as matérias primas (a chamada “fase quente”). Levou-se em consideração, para efeito de cálculo, o período do mês de setembro de 2022, em dias úteis, de acordo com as produções feitas na empresa neste mês. Estas informações estão reunidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados dos circuitos elétricos das resistências dos tanques misturadores.

Parâmetro	Tanque				TOTAL
	MI-001	RE-001	RE-002	RE-003	
Corrente (A)	-	95	95	-	-
Potência (kW)	1,5	36	36	42	-
Tempo total (h)	14	24	22	20	80
Consumo (kWh)	21	864	792	840	2.517

Multiplicando-se o consumo de energia elétrica, em kWh, pelos valores de tarifa de energia elétrica constantes em pesquisa à conta de energia da empresa, encontra-se o custo, em reais, cobrado para o processo de aquecimento de água nos tanques para o mês de setembro, cujo valor é de R\$ 1.492,00. Do total consumido, em kWh, apenas 2,47% corresponde ao horário na ponta, cuja tarifação é a mais cara.

Em relação à tarifa de energia elétrica da empresa no mês de setembro, o custo com a energia demandada pelos tanques misturadores para as produções corresponde a aproximadamente 49,65% do total apenas consumido pela empresa no período (dividiu-se o custo de energia pelos tanques pelo custo total consumido pela empresa, multiplicado por cem). Ao restante da conta (demais tarifas), somam-se 35,56% de impostos tributários e encargos. Com base nisso, pode-se aproximar

o gasto com energia elétrica para manutenção mensal dos tanques misturadores para aproximadamente R\$ 1.702,22.

Visto que os tanques misturadores da empresa não possuem sistema de isolamento térmico, uma parcela do calor que deveria ser transferido integralmente à água para solubilização dos componentes da “fase quente” dentro do tanque é dissipada para o ambiente. Essa alíquota de calor é transferida para o ambiente através das paredes laterais dos tanques (fluxo radial), a tampa e o fundo acoplada à plataforma da área de produção (fluxo unidirecional). Em termos quantitativos, por meio das Equações 1 e 2 e com o auxílio do software *EES (Engineering Equation Solver)*, pode-se calcular a quantidade de calor dissipada para o ambiente.

Nos cálculos levou-se em consideração os valores das condutividades térmicas (kc) dos materiais que compõem as partes dos tanques misturadores (aço inoxidável AISI 304 e 316, $kc = 14,9$ e $13,4$ W/m*K, respectivamente) disponíveis na Tabela A.1 do Apêndice A do livro “Transferência de Calor e Massa” de Incropera *et al.* (2008).

Para o conhecimento da temperatura nas vizinhanças aos tanques misturadores aplicou-se média aritmética dos valores de temperaturas registradas durante o período de janeiro a setembro de 2022 por termo-higrômetro e o valor encontrado foi de $29,7^{\circ}\text{C}$. Os valores do fluxo de calor dissipado para o ambiente são apresentados pela Tabela 2.

Tabela 2 – Fluxo de calor dissipado para o ambiente.

Parâmetros	Tanques				
	MI-001	RE-001	RE-002	RE-003	TOTAL
Raio externo [m]	0,26941	0,43041	0,48041	0,54541	-
Raio interno [m]	0,26400	0,42500	0,47500	0,54000	-
Comprimento [m]	0,75000	0,70000	0,91500	1,1700	-
Espessura tanque [m]	0,00541	0,00541	0,00541	0,00541	-
Área tampa [m²]	0,219	0,5675	0,7088	0,9161	-
Área fundo [m²]	0,219	0,5675	0,7088	0,9161	-
kc laterais/fundo (W m⁻¹ K⁻¹)	13,4	13,4	13,4	13,4	-
kc tampa (W m⁻¹ K⁻¹)	13,4	14,9	14,9	13,4	-
ΔT [°C]	50,3	50,3	50,3	50,3	-
Fluxo de calor unidirecional [kW]	54,559	149,309	186,507	228,267	618,642
Fluxo de calor radial [kW]	156,579	234,365	342,162	497,052	1.230,158
Fluxo de calor total [kW]	211,138	383,674	528,669	725,319	1.848,8

De forma a diminuir as perdas de calor para o ambiente, evitando desperdícios e consumo adicional de energia, estudou-se a viabilidade de implementação de uma camada de isolante térmico nas superfícies dos tanques misturadores. O isolante escolhido é o poliuretano e a camada aplicada terá uma espessura de 5 cm, cuja condutividade térmica ($kc = 0,023$ W/m*K) é conhecida. Em termos quantitativos, a redução do fluxo de calor dissipado pelos tanques para o ambiente é mostrada na Tabela 3, que à semelhança da Tabela 2, teve-se os cálculos realizados utilizando-se o *software EES* com o auxílio das Equações 3, 4, 5 e 6.

Tabela 3 – Fluxo de calor dissipado para a atmosfera com paredes isoladas.

Parâmetros	Tanques				TOTAL
	MI-001	RE-001	RE-002	RE-003	
Raio externo tanque [m]	0,26941	0,43041	0,48041	0,54541	-
Raio interno tanque [m]	0,26400	0,42500	0,45000	0,54000	-
Raio externo isolante [m]	0,31941	0,48041	0,53041	0,59541	-
Raio interno isolante [m]	0,26941	0,43041	0,48041	0,54541	-
Comprimento [m]	0,75000	0,70000	0,91500	1,17000	-
Espessura tanque [m]	0,00541	0,00541	0,00541	0,00545	-
Espessura isolante [m]	0,05	0,05	0,05	0,05	-
Área tampa [m²]	0,2190	0,5675	0,7088	0,9161	-
Área fundo [m²]	0,2190	0,5675	0,7088	0,9161	-
<i>k</i> tanque laterais/fundo [W m⁻¹ K⁻¹]	13,4	13,4	13,4	13,4	-
<i>k</i> tanque tampa [W m⁻¹ K⁻¹]	13,4	14,9	14,9	13,4	-
<i>k</i> isolante [W m⁻¹ K⁻¹]	0,023	0,023	0,023	0,023	-
ΔT [°C]	50,3	50,3	50,3	50,3	-
Fluxo de calor unidirecional [kW]	27,290	70,717	88,324	114,156	300,487
Fluxo de calor radial [W]	32,02	46,29	67,01	96,94	242,26
Fluxo de calor total [kW]	27,322	70,763	88,391	114,253	300,729

Nota-se uma considerável diminuição da perda de calor para o ambiente vizinho aos tanques misturadores. Em termos percentuais, essa redução chega a 83,73% que é a eficiência do isolamento (dada pela divisão entre a quantidade de calor dissipada para o ambiente com isolamento pela quantidade sem isolamento multiplicada por 100).

Com a utilização do isolante térmico, reduz-se a necessidade de se utilizar as resistências elétricas dos tanques misturadores por mais tempo para compensar a perda de calor dissipada para o ambiente. Isso reduz a quantidade de energia elétrica consumida com o uso das resistências, e consequentemente o valor total da tarifa da conta de luz. No entanto, deve-se levar em consideração o custo-benefício com a utilização do isolante térmico escolhido, avaliando parâmetros como eficiência, durabilidade e disponibilidade.

3.3 Projeto da Caldeira e Implementação

O projeto da caldeira foi concebido pela empresa ECAL® Caldeiras e Aquecedores de São Paulo – SP. O equipamento é um gerador de vapor horizontal flamotubular com pressão de trabalho de 8,5 kgf/cm², com produção de vapor de até 1.100 kg/h, o que supriria a demanda por energia para alimentar os tanques de produção da empresa. Ela é construída em aço carbono e isoladas termicamente por lã de rocha e revestidas com alumínio do tipo estuco. A Figura 2 ilustra a caldeira orçada.



Figura 4 – Caldeira horizontal a ser adquirida (Fonte: ECAL®)

Para a operação da caldeira, a legislação exige o treinamento dos colaboradores: “Todo operador de caldeira deve ser submetido à prática profissional supervisionada na operação da própria caldeira que irá operar, a qual deve ser documentada e ter duração mínima de 40 (sessenta) horas para caldeiras do tipo B” (NR-13, Anexo I – item A1.5). O valor da mão de obra do colaborador na operação de caldeiras a vapor foi fornecido por meio da média dos salários praticados em Minas Gerais levando-se em consideração os tributos e impostos vigentes no mês de setembro de 2022. Na Tabela 4 consta o valor do piso salarial de Operador de Caldeira a Vapor no estado de Minas Gerais que é de R\$ 1.712,81 para uma jornada de trabalho de 43 (quarenta e três) horas por semana, de acordo com dados oficiais do CAGED de profissionais demitidos no mercado de trabalho.

Tabela 4 – Custos operacionais de projeto e mão de obra.

Item	Investimento (R\$)
Caldeira + acessórios	334.100,00
Subtotal	334.100,00
Combustível gás GLP (mensal)	24.760,00
Mão de obra (mensal, 2 caldeiristas)	3.425,62
Impostos sobre mão de obra	2.720,00
Subtotal	30.905,00

O gasto com o combustível mensal fornecido pela Tabela 4 foi obtido por meio de um levantamento feito junto à empresa Supergasbras® concomitantemente com a fornecedora da caldeira. Levou-se em consideração o preço por quilograma de gás fornecido e o padrão de consumo mensal de gás combustível pela caldeira. De posse desses dados pode-se prever o consumo mensal de gás GLP em quilograma e conseqüentemente o valor gasto com esse combustível. Os custos de instalação do sistema de fornecimento e alimentação do gás GLP à caldeira fica a cargo da empresa fornecedora.

No mais, os gastos com instalação/montagem, homologação e isolamento térmico da caldeira ficam a cargo da empresa fornecedora e seus valores estão incluídos no item “Caldeira + acessórios” da Tabela 4.

3.4 Viabilidade Financeira do Projeto

Para constatar se o projeto é viável e se trará retorno financeiro para a empresa e a que tempo isto ocorreria, fez-se um estudo de viabilidade financeira. Para os cálculos, considerando o atual cenário financeiro do país, que inclui juros de investimentos e inflação, utilizou-se uma taxa mínima de atratividade de 12%. O período para o retorno financeiro de investimento considerado por este trabalho é de 1 (um) ano dividido em 6 bimestres.

Levou-se em consideração o valor investido para a implementação da caldeira (por meio de capital próprio) e os gastos com combustível mensal de GLP e operação com mão de obra subtraídos do valor de economia de energia elétrica com a utilização dos tanques misturadores. O valor encontrado foi dobrado por se tratar de período bimestral – chegando-se, assim, aos fluxos de caixa de -R\$ 58.406,00 Aplicou-se as Equações 7, 8 e 9 com o auxílio do *software EES*. Os resultados estão inseridos na Tabela 5.

Tabela 5 – Retorno do Investimento Financeiro

Período (Bimestres)	Fluxo de caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 334.100,00	-R\$ 334.100,00	-R\$ 334.100,00
1	-R\$ 58.406,00	-R\$ 52.148,21	-R\$ 386.248,21
2	-R\$ 58.406,00	-R\$ 46.560,91	-R\$ 432.809,12
3	-R\$ 58.406,00	-R\$ 41.572,24	-R\$ 474.381,36
4	-R\$ 58.406,00	-R\$ 37.118,07	-R\$ 511.499,43
5	-R\$ 58.406,00	-R\$ 33.141,13	-R\$ 544.640,56
6	-R\$ 58.406,00	-R\$ 29.590,30	-R\$ 574.230,86
VPL do projeto		-R\$ 574.230,86	
Taxa Interna de Retorno (TIR)		-	
Tempo de <i>payback</i>		Projeto Inviável	

O gasto com combustível e mão de obra torna o projeto inviável, uma vez que, tendo os fluxos de caixa negativos, o investimento aplicado na compra da caldeira nunca seria recuperado, acumulando-se a -R\$ 574.230,86 no final do período considerado.

3.4.1 Solução Proposta

Diante das análises feitas com vista em retorno de investimento pelo tempo de 1 (um) ano, a concepção da implementação da caldeira se torna inviável, como mostram os valores obtidos nas análises utilizando as ferramentas financeiras presentes na Tabela 5. Com isso, a melhor opção para a empresa seria o investimento no isolamento térmico com poliuretano dos tanques misturadores, reduzindo, assim, a perda de calor para o ambiente e aumentando a eficiência do processo.

Considerando-se a eficiência do isolamento térmico dos tanques misturadores calculado e igual a 83,73% um novo cálculo para a energia elétrica pode ser feito para estimar a economia com a inserção do poliuretano. Este valor calculado é de R\$ 769,59.

Percebe-se uma diminuição percentual de 55% no valor do custo do consumo de energia elétrica com isolamento térmico dos tanques misturadores, o que justifica um possível investimento nessa solução proposta.

Para constatar se o projeto de investimento no isolamento de poliuretano é viável, primeiramente utilizou-se as ferramentas de retorno financeiro à semelhança do que foi feito na página 60 deste trabalho. O investimento inicial é de R\$ 5.873,89, orçado pela MaxTherm® Isolamentos Térmicos, e inclui apenas o custo com o poliuretano. A taxa de atratividade foi mantida em 12% assim como o período de 1 (um) ano dividido em 6 (seis) bimestres. O fluxo de caixa mensal é de R\$ 932,63 que corresponde proporcionalmente à diferença entre os custos com energia elétrica sem isolamento e com isolamento. Os resultados obtidos estão inseridos na Tabela 6.

Tabela 6 – Retorno do Investimento Financeiro com isolamento apenas.

Período (Bimestres)	Fluxo de caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 5.873,89	-R\$ 5.873,89	-R\$ 5.873,89
1	R\$ 1.865,26	R\$ 1.665,41	-R\$ 4.208,48
2	R\$ 1.865,26	R\$ 1.486,97	-R\$ 2.721,51
3	R\$ 1.865,26	R\$ 1.327,66	-R\$ 1.393,85
4	R\$ 1.865,26	R\$ 1.185,41	-R\$ 208,44
5	R\$ 1.865,26	R\$ 1.058,40	R\$ 849,95
6	R\$ 1.865,26	R\$ 945,00	R\$ 1.794,95
VPL do projeto		R\$ 1.794,95	
Taxa Interna de Retorno (TIR)		22%	
Tempo de <i>payback</i>		4,20 (8 meses e 12 dias)	

O investimento seria recuperado em aproximadamente 8 meses e 12 dias. No entanto, os custos com mão de obra para instalação do poliuretano para o tempo determinado inviabilizam o projeto, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Retorno do Investimento Financeiro com isolamento + mão de obra bimestral.

Período (Bimestres)	Fluxo de caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 25.248,67	-R\$ 25.248,67	-R\$ 25.248,67
1	R\$ 1.865,26	R\$ 1.665,41	-R\$ 23.583,26
2	R\$ 1.865,26	R\$ 1.486,97	-R\$ 22.096,29
3	R\$ 1.865,26	R\$ 1.327,66	-R\$ 20.768,63
4	R\$ 1.865,26	R\$ 1.185,41	-R\$ 19.583,22
5	R\$ 1.865,26	R\$ 1.058,40	-R\$ 18.524,83
6	R\$ 1.865,26	R\$ 945,00	-R\$ 17.579,83
VPL do projeto		-R\$ 17.579,83	
Taxa Interna de Retorno (TIR)		-	
Tempo de <i>payback</i>		Projeto Inviável	

Por fim estudou-se a possibilidade de expandir o tempo de retorno financeiro para 6 (seis) anos, uma vez que a empresa está crescendo e poderá aumentar seus lucros, e produções, viabilizando o projeto de instalação do isolante térmico. Esses resultados estão inseridos na Tabela 8.

Tabela 8 – Retorno do Investimento Financeiro com isolamento + mão de obra anual.

Período (Anos)	Fluxo de caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 25.248,67	-R\$ 25.248,67	-R\$ 25.248,67
1	R\$ 11.191,56	R\$ 9.992,46	-R\$ 15.256,21
2	R\$ 11.191,56	R\$ 8.921,84	-R\$ 6.334,36
3	R\$ 11.191,56	R\$ 7.965,93	R\$ 1.631,57
4	R\$ 11.191,56	R\$ 7.112,44	R\$ 8.744,01
5	R\$ 11.191,56	R\$ 6.350,39	R\$ 15.094,40
6	R\$ 11.191,56	R\$ 5.669,99	R\$ 20.764,39
VPL do projeto		R\$ 20.764,39	
Taxa Interna de Retorno (TIR)		38%	
Tempo de <i>payback</i>		2,80 (2 anos e 10 meses)	

O investimento seria recuperado em aproximadamente 2 anos e 10 meses. Como pode-se observar, o fator limitante para esta proposta é o investimento com mão de obra que supera o valor do material isolante térmico de poliuretano em si.

4. Conclusão

A implementação da caldeira de geração de vapor se mostrou um processo viável no início do estudo, visto que, o atual processo utilizado por meio de resistências elétricas para aquecimento é custoso e oneroso. Além disso, o consumo de energia elétrica no país atualmente tem enfrentado dinâmicos cada vez mais frequentes, pela adoção de bandeiras cujas tarifas aumentam em períodos de estiagem e seca, levando em consideração que a principal matriz energética brasileira provém das usinas hidrelétricas. Logo, a instalação de um vaso de pressão resolveria essa questão, mesmo que o balanço energético da empresa não seja alto se comparado com outros ramos industriais. Entretanto, o projeto mostrou-se inviável, pelo custo dos equipamentos, a mão de obra para operação da caldeira e os gastos com combustível GLP suplantarem a redução do custo com energia elétrica se considerarmos o tempo para retorno do investimento em 1 (um) ano.

Ademais, os tanques misturados da empresa dissipam calor naturalmente para a vizinhança, e um investimento para isolamento térmico com poliuretano foi considerado de forma a reduzir as perdas de calor para o processo. O projeto se mostrou viável se considerarmos apenas o gasto com o material isolante, mas inviável pelos custos com mão de obra para instalação, ao suplantarem a redução do gasto com energia elétrica. No entanto, este investimento se torna palpável ao considerarmos o retorno de investimento em aproximadamente 3 (três) anos, uma vez que a empresa está crescendo e aumentando seu fluxo de produção.

Referências

- Altafini, C. R. (2002). *Apostila sobre caldeiras*. Universidade Caxias do Sul.
- Botelho, M. H.; Bifano, H. M. C. (2011). *Operação de caldeiras: gerenciamento, controle e manutenção*. 1. Ed. São Paulo: Blucher.
- Brasil, Governo do Brasil. (2022) NR 13: *Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento*. <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-13.pdf>
- Çengel, Y. A.; Ghajar, A. J. (2012). *Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática*. 4. Ed. Porto Alegre, RS: Editora McGrawHill.

- Cherobim, A. P. M. S.; Lemes Júnior, A. B.; Bigo, C. M. (2016). *Administração financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras*. 4. Ed. São Paulo.
- Cibo, Council of Industrial Boiler Owners. (1997). *Energy efficiency handbook*. Edited by Ronald A. Zeitz. Burke.
- Ecal® Caldeiras e Aquecedores. (2022) *Caldeiras Horizontais*. <https://www.ecal.com.br/categorias/caldeiras-horizontais>
- Eletróbrás. Centrais Elétricas Brasileiras, S/A. (2005). FUPAI/EFFICIENTIA. *Eficiência Energética no Uso de Vapor*. Rio de Janeiro: Eletrobras.
- Fanti, L. D.; Nascimento Filho, L. B.; Dias, T. S. (2015). *Análise de investimento pela ótica de redução de custos e despesas utilizando-se das técnicas de valor presente líquido, taxa interna de retorno e payback descontado: uma abordagem entre a teoria e prática*. Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). CONASUM – III Congresso de Administração do Sul do Mato Grosso.
- Helfert, E. A. (2000). *Técnicas de Análise Financeira*. 9. ed. São Paulo: Bookman.
- Incropera, F.P.; Dewitt, D.P.; Bergman, T. L.; Lavine, A.S. (2008). *Fundamentos de Transferência de Calor e Massa*. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Klann, R. C.; Tomasi, G. (2010). *Análise de viabilidade de instalação de kit GNV em veículos com a utilização do valor presente líquido e taxa interna de retorno*. Revista Catarinense da Ciência Contábil – CRCSC – Florianópolis, v. 9, n. 27, p. 9-24.
- Kreith, F.; Bohn, M. S. (2013). *Princípios da Transferência de Calor*. São Paulo: Cengage Learning.
- Samanez, Carlos P. (2009) *Engenharia econômica*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Silva, F. M. F. (2013). *Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores*. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Silva, J. P. (2010). *Análise Financeira das Empresas*. 10. ed. São Paulo: Atlas.
- Torreira, R. P. (1980). *Fluidos Térmicos*. Editora Hemus.