

Viabilidade econômica e ambiental da substituição do gás liquefeito de petróleo a partir da recuperação do calor gerado na produção de ar comprimido

Economic and environmental feasibility of replacing liquefied petroleum gas from the recovery of heat generated in the production of compressed air

Viabilidad económica y medioambiental de la sustitución del gas licuado de petróleo procedente de la recuperación del calor generado en la producción de aire comprimido

Recebido: 07/09/2020 | Revisado: 16/09/2020 | Aceito: 16/09/2020 | Publicado: 19/09/2020

Alisson Lara de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2037-3547>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: alissonlcarvalho@yahoo.com.br

Júlia Assunção de Castro Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8358-2832>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: julia.assuncaooliveira@hotmail.com

Jorge Nei Brito

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6487-1425>

Universidade Federal de São João del Rei, Brasil

E-mail: brito@ufsj.edu.br

Teresa Cristina Bessa Nogueira Assunção

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5854-3230>

Universidade Federal de São João del Rei, Brasil

E-mail: bessa@ufsj.edu.br

Resumo

Diversas empresas utilizam o gás liquefeito de petróleo (GLP), comumente conhecido como “gás de cozinha” para realizar o aquecimento da água dos chuveiros de vestiários. O uso do GLP para esta finalidade representa um custo elevado, no entanto, empresas que possuem um sistema de produção de ar comprimido poderiam recuperar o calor gerado no processo de compressão do ar atmosférico e utilizá-lo como substituinte do GLP para o aquecimento da

água, reduzindo custos e impactos ambientais. Neste sentido, objetivou-se analisar a viabilidade econômica e ambiental da recuperação do calor gerado na produção de ar comprimido em substituição ao GLP para o aquecimento da água dos chuveiros em uma indústria química no estado de Minas Gerais. Inicialmente foram orçados os custos do consumo de GLP para o aquecimento dos chuveiros e da implantação do projeto de recuperação do calor produzido pelos compressores. Os resultados deste estudo de viabilidade apontaram que a implantação deste tipo sistema de recuperação de calor produzido durante a compressão do ar comprimido é economicamente viável. Além disso, esta substituição promoveria o aumento da eficiência energética global desta indústria, bem como uma redução da emissão de CO₂. Esta análise também demonstrou que a inclusão deste tipo de instalação de recuperação de calor no projeto inicial pode influenciar na localização dos compressores, reduzindo os gastos com isolamento térmico e tubulações e aumentando a eficiência da recuperação do calor produzido.

Palavras-chave: Eficiência energética; Geração; Ar comprimido; GLP; Economia.

Abstract

Several companies use liquefied petroleum gas (LPG), commonly known as “cooking gas” to heat the water in the dressing room showers. The use of LPG for this purpose represents a high cost, however, companies that have a compressed air production system could recover the heat generated in the process of compressing atmospheric air and use it as a substitute for LPG for heating water, reducing costs and environmental impacts. In this sense, the objective was to analyze the economic and environmental viability of recovering the heat generated in the production of compressed air to replace LPG for heating shower water in a chemical industry in the state of Minas Gerais. Initially, the costs of consuming LPG for heating showers and implementing the project to recover the heat produced by the compressors were budgeted. The results of this feasibility study showed that the implementation of this type of heat recovery system produced during the compression of compressed air is economically viable. In addition, this replacement would promote an increase in the global energy efficiency of this industry, as well as a reduction in CO₂ emissions. This analysis also demonstrated that the inclusion of this type of heat recovery installation in the initial design can influence the location of the compressors, reducing costs with thermal insulation and pipes and increasing the efficiency of the recovery of the heat produced.

Keywords: Energy efficiency; Generation; Compressed air; LPG; Economy.

Resumen

Varias empresas utilizan gas licuado de petróleo (GLP), comúnmente conocido como “gas de cocción” para calentar el agua en las duchas de los vestidores. El uso de GLP para este propósito representa un alto costo, sin embargo, las empresas que cuentan con un sistema de producción de aire comprimido podrían recuperar el calor generado en el proceso de compresión del aire atmosférico y utilizarlo como sustituto del GLP para calentar agua, reduciendo costos e impactos ambientales. En este sentido, el objetivo fue analizar la viabilidad económica y ambiental de recuperar el calor generado en la producción de aire comprimido en sustitución del GLP para calentar agua de ducha en una industria química del estado de Minas Gerais. Inicialmente, se presupuestaron los costos de consumir GLP para calentar duchas y ejecutar el proyecto de recuperación del calor producido por los compresores. Los resultados de este estudio de viabilidad mostraron que la implementación de este tipo de sistema de recuperación de calor producido durante la compresión del aire comprimido es económicamente viable. Además, esta sustitución promovería un aumento de la eficiencia energética global de esta industria, así como una reducción de las emisiones de CO₂. Este análisis también demostró que la inclusión de este tipo de instalación de recuperación de calor en el diseño inicial puede influir en la ubicación de los compresores, reduciendo costes con aislamiento térmico y tuberías y aumentando la eficiencia de la recuperación del calor producido.

Palabras-clave: Eficiencia energética; Generación; Aire comprimido; GLP; Economía.

1. Introdução

O Brasil é um país que ainda possui sua matriz elétrica baseada na energia hídrica, no entanto, existem diversos incentivos para o uso e desenvolvimento de novas fontes de geração de energia elétrica, tais como fontes renováveis e cogeração.

A matriz energética brasileira apresenta um consumo de 53,9% de combustíveis não renováveis, no entanto ocorreu um aumento da geração de fontes renováveis nos últimos anos com destaque para a geração de energias eólica e solar. Outro fator relevante é o consumo total de energia, onde o setor industrial do país é responsável por 30,4% deste consumo (Ben, 2020).

O ar atmosférico é um fluido abundante e quando comprimido torna-se uma fonte de energia importante em processos industriais (Atlas Copco, 2015). O custo total de trabalho com o ar comprimido (AC) inclui as instalações, reparos e manutenções de equipamentos.

Para obter um melhor desempenho e eficiência ao utilizar o AC é necessário um bom planejamento, além de instalações, equipamentos e layout dimensionados corretamente e condicionados de forma apropriada para operação (Rollins, 2004).

Durante o processo de compressão do ar atmosférico, cerca de 80% da energia utilizada é convertida em calor que pode ser aproveitado para aumentar a eficiência da central de compressores, evitando seu resfriamento por trocadores de calor (Saidur et al., 2010). Além disso, o calor gerado pode ser recuperado e utilizado para aquecer a água dos chuveiros de vestiários de empresas, bem como na secagem de produtos (Estu, 1998). Outra alternativa para o aumento da eficiência energética dos compressores seria a otimização da utilização destes como demonstrado por Mousavi, Kara & Kornfeld (2014) através de modelos de simulação computacional.

Um estudo realizado em países da Europa demonstrou que a recuperação de calor gerado na compressão do ar atmosférico em sistemas de compressores é viável e além da vantagem econômica, possibilita uma certificação de eficiência energética (Broniszewski & Werle, 2018).

Desta forma, a recuperação do calor gerado durante a compressão do ar atmosférico se mostra como uma possível alternativa viável para substituição total ou parcial do uso de combustíveis fósseis como o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) popularmente conhecido como “gás de cozinha” e o Gás Natural que geralmente são utilizados nestes processos por ser uma fonte de baixo custo quando comparado com a energia elétrica. Além disso, esta substituição proporcionaria a redução da emissão de CO₂ proveniente da queima do GLP.

Neste contexto, objetivou-se avaliar a viabilidade econômica e ambiental da recuperação do calor gerado na produção de AC em substituição ao GLP de uma indústria química localizada no estado de Minas Gerais.

2. Metodologia

Este estudo foi realizado no mês de Setembro de 2019 tomando como base os dados de consumo de GLP para aquecimento da água de chuveiros dos vestiários da empresa no ano de 2015. Para o cálculo real sobre os gastos com o GLP, tomou-se como base o valor pago pela empresa no ano de 2019 (R\$6,50/kg), bem como os custos estimados para implantação do projeto de recuperação do calor produzido pelos compressores.

Para o cálculo de viabilidade econômica, tomou-se como referência os valores da taxa de juros (Selic) de 5,5% aa, valor referente ao mês de Setembro de 2019 (BCB, 2019). O

custo do investimento da instalação do sistema foi estimado pela equipe de engenharia da empresa e o valor repassado para o cálculo da viabilidade econômica foi de R\$350.000,00. Os custos de operação e manutenção do sistema de GLP foram estimados em R\$35.000,000 por ano.

Para a comparação dos custos com GLP e os custos do projeto de instalação para recuperação de calor, realizou-se um levantamento do custo total de gastos com GLP e da economia gerada a partir da instalação do sistema de recuperação de calor. Utilizou-se nesta análise o fator de capitalização e a vida útil estimada para o sistema de 15 anos. Ao final, calculou-se o tempo de retorno do investimento, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno do projeto (Ardalan, 2000).

Ressalta-se que existem outras aplicações do GLP nesta empresa, como para secagem de produtos e empilhadeiras, onde o valor total de R\$562.743,03 gasto com GLP para estes processos foi incluído no cálculo de viabilidade econômica.

Concomitante aos cálculos de viabilidade econômica foram realizados os cálculos de emissão de CO₂ durante o uso do GLP utilizando-se a calculadora de emissão de CO₂ (Sosma, 2019).

3. Resultados e Discussão

Inicialmente, foi analisada a possibilidade da utilização do calor residual gerado durante a compressão do ar atmosférico, para o aquecimento da água dos chuveiros, que no sistema atual era armazenada em boiler conforme Figura 1.

Figura 1. Boiler de Aquecimento de Água do Vestiário Central.

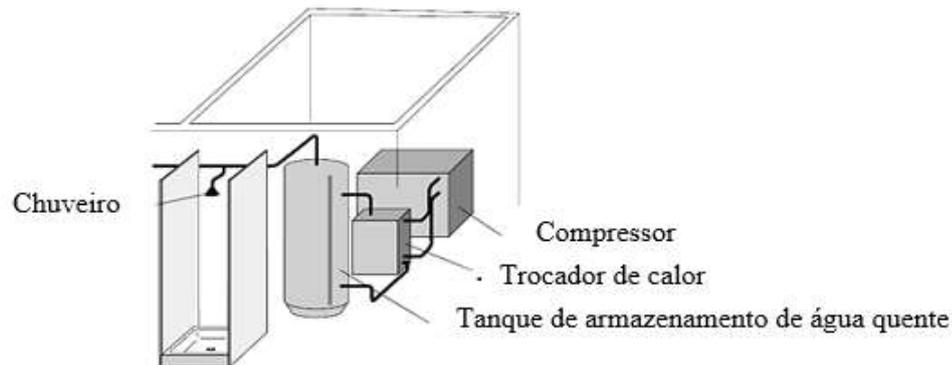


Fonte: Carvalho (2016).

Esta solução proposta tinha como objetivo substituir totalmente o uso do GLP que é utilizado para o aquecimento da água dos chuveiros dos vestiários, reduzindo o consumo total

de GLP. Para isto, o calor gerado a partir dos compressores reservas seria aproveitado, onde um trocador de calor externo do próprio fabricante seria instalado no compressor modelo ZR-5 que atende um dos setores da empresa. Na Figura 2, tem-se o esquema de instalação deste projeto.

Figura 2. Esquema da configuração da instalação para reaproveitamento do calor gerado nos compressores para utilização em chuveiros.

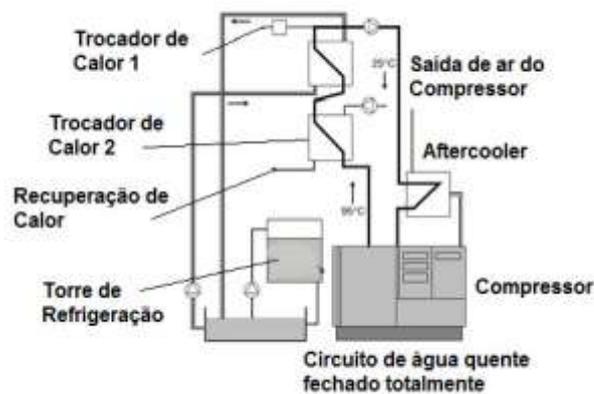


Fonte: Estu (1998).

Percebeu-se neste estudo que a partir desta instalação e do uso do compressor na frequência adequada, seria possível substituir 100% do GLP, pois esta instalação promoveria o aquecimento da água até a temperatura requerida de 66°C.

Uma segunda alternativa para recuperação do calor gerado durante a compressão do ar atmosférico seria a instalação de trocadores de calor do tipo óleo/água no sistema de compressores titulares, onde neste caso a empresa dispõe de 05 compressores para tal instalação. Um esquema para esta instalação é apresentado na Figura 3.

Figura 3. Esquema da instalação de trocadores de calor óleo/água no sistema de compressores titulares para aproveitamento do calor gerado para utilização em chuveiros.



Fonte: Estu (1998).

Durante a busca de alternativas para o aproveitamento do calor gerado para aquecimento da água dos chuveiros dos vestiários, verificou-se que para os compressores reservas do *Fabricante I* existiam alternativas disponíveis no mercado pelo próprio fabricante. Já para máquinas do *Fabricante II* foi verificado que a melhor solução seria a instalação de um trocador de calor óleo/água em compressores (Figura 4), porém esta solução não estava disponível no mercado brasileiro.

Figura 4. Exemplo de compressor para instalação de trocador de Calor Óleo/Água.



Fonte: Catálogo *Ingersoll Rand* (2008).

Existem diversos fabricantes de trocadores de calor e uma alternativa, diante da inexistência de trocador de calor no mercado brasileiro, seria adquirir e adaptar um equipamento de outro fabricante, onde a adaptação não comprometeria a eficiência do sistema ao ser dimensionado adequadamente.

Inicialmente verificou-se que a adoção deste novo sistema para aquecimento da água dos chuveiros em substituição ao atual, promoveria uma redução de 25% dos gastos totais com o GLP já que este combustível também é utilizado no sistema de secagem de materiais e nas empilhadeiras desta empresa.

Posteriormente ao estudo inicial, foi realizado um levantamento do gasto financeiro com GLP, considerando que ao substituir este sistema por um sistema de troca de calor, o retorno financeiro viabilizaria o investimento. Na Tabela 1 são apresentados os gastos com GLP para aquecimento da água dos chuveiros no ano de 2015. Note que para o cálculo foi utilizado o valor pago pela empresa em 2019 (R\$6,50 kg).

Tabela 1. Consumo e Gasto em R\$ anualizados de GLP.

| Equipamento | Consumo de GLP | Total Gasto (R\$) |
|-------------|----------------|-------------------|
| Chuveiros | 19.905,87 kg | R\$ 129.388,16 |

Fonte: Autores (2019).

A partir deste estudo, verificou-se que o valor de consumo relacionado ao sistema atual de vestiário (chuveiro) foi de R\$ 129.388,16 e o valor estimado pelo setor de engenharia da empresa para a instalação do sistema de aproveitamento do calor gerado pelos compressores para o aquecimento da água dos chuveiros seria de aproximadamente R\$ 350.000,00, considerando a aquisição de equipamentos e realizações das instalações e obras civis no investimento inicial para recuperação de calor para o sistema de chuveiros.

Na Tabela 2 é demonstrada a análise da viabilidade econômica da instalação do sistema de recuperação do calor gerado pelos compressores.

Tabela 2. Análise de Viabilidade com Sistema de Recuperação de Calor para chuveiros.

| Análise de Investimento Recuperação de Calor para Chuveiros | | |
|--|------------|---------|
| Vida útil | 15 | Anos |
| Taxa de Juros | 5.5% | |
| Fator de capitalização | 0,100 | |
| <hr/> | | |
| Investimento (Custo de Capital Total) | 350.000,00 | R\$ |
| Custo anualizado do investimento | 34.869,00 | R\$/ano |
| Custo O&M | 35.000,00 | R\$/ano |
| Custo total GLP (Excluídos chuveiros) | 433.354,86 | R\$/ano |
| Custo total anualizado | 503.223,00 | R\$/ano |
| <hr/> | | |
| Sistema convencional | | |
| <hr/> | | |
| Custo anual GLP (Incluídos chuveiros) | 562.743,03 | R\$/ano |
| Custo O&M | 35.000,00 | R\$/ano |
| Outros | 10.000,00 | R\$/ano |
| Custo total anualizado | 607.743,00 | R\$/ano |
| <hr/> | | |
| Economia anual | 104.519,02 | R\$/ano |
| <hr/> | | |
| Tempo de retorno | 2,8 | Anos |
| Valor presente líquido | 994.426,60 | |
| Taxa interna de retorno | 39,6% | |
| <hr/> | | |

Fonte: Autores (2019).

Ao final dos cálculos verificou-se que os custos evitados com consumo de GLP para aquecimento da água dos chuveiros viabilizariam o investimento com uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 39,6% com um tempo de retorno de investimento de 2,8 anos conforme Tabela 2. Assim, ao aproveitar o calor dos compressores para sistema de chuveiros da empresa, seria gerada uma economia de R\$ 104.519,02/ano.

Cálculo da emissão de CO₂

Concomitante ao cálculo da viabilidade econômica, realizou-se o cálculo da emissão de CO₂ utilizando-se uma calculadora de emissão de CO₂ (Sosma, 2019). Neste caso, verificou-se a partir do cálculo da emissão de CO₂ proveniente da queima de 19,9 toneladas de GLP, que este projeto evitaria uma emissão anual de 59,51 toneladas de CO₂, durante um ano para alimentação de chuveiros (Sosma, 2019).

Desta forma, verificou-se que além do benefício do aumento da eficiência energética, esta substituição promoveria uma redução da emissão de CO₂ proveniente da combustão do GLP.

4. Considerações Finais

Após o levantamento, verificou que as duas alternativas possibilitariam a substituição de 100% no uso do GLP utilizado para o aquecimento da água dos chuveiros. Neste sentido, além da viabilidade econômica, esta substituição promoveria uma viabilidade ambiental pois seria reduzido o uso de um combustível fóssil onde sua queima libera CO₂ para a atmosfera.

Ressalta-se que quando estas alterações e adaptações estão previstas no projeto inicial, os custos neste tipo de instalação para a recuperação de calor são reduzidos e pode influenciar na localização geográfica da instalação dos compressores, dando preferência às proximidades dos potenciais consumidores de calor como por exemplo os escritórios, vestiários e secadores de produtos.

Referências

Ardalan, A. (2000). *Economic and Financial Analysis for Engineering and Project Management*. Technomic Publishin Company, Inc. Lancaster, Pennsylvania, USA.

Atlas Copco Airpower NV, Compressed Air Manual (8a ed.), Bélgica, 2015.

Banco Central do Brasil (BCB). (2019). Recuperado de <https://www.bcb.gov.br/controlinflacao/historicotaxasjuros>.

Boletim Energético Nacional (BEN). (2020). Recuperado de https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf.

Broniszewski, M., & Werle, S. (2018). The study on the heat recovery from air compressor. *E3S Web of Conferences* 70. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187003001>.

Cavalho, A. L. (2016). Análise da Auditoria Energética na Geração de Ar Comprimido: Estudo de caso em uma indústria química na região do Campo das Vertentes. Universidade Federal de São João del Rei. São João del Rei, Minas Gerais.

Estu. (1998). *Good Practice Guide N°238*, London, UK.

Ingersoll-Rand. (2008). Recuperado de http://www.ingersollrandproducts.com/air/catalogs/125-200hp_90-160kW%20CC%20Brochure_US.pdf.

Mousavi, S., Kara, S., & Kornfeld. (2014). Energy Efficiency of Compressed Air Systems. *Procedia CIRP* 15, 313-318.

Olesko, H. D. (2013). Uma proposta de eficiência energética para sistemas de ar comprimido industriais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, Paraná.

Rollins, J. P. (2004). *Manual de Ar Comprimido e Gases/ Compressed Air Gas Institute*. Ed. Prentice Hall. São Paulo.

Sá, M. A. G. (2017). Análise da eficiência energética do sistema de ar comprimido em uma planta de processamento de gás liquefeito de petróleo. Universidade Federal de Santa Maria. Foz do Iguaçu, Paraná.

Saidur, R., Rahim, N. A., & Hasanuzzaman, M. (2010). A review on compressed-air energy use and energy savings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14, 1135-1153.

Sosma. (2019). SOS Mata Atlântica. Calculadora de emissão de CO2. Recuperado de <https://www.sosma.org.br/projeto/florestas-futuro/como-participar/calculadora/>.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Alisson Lara de Carvalho – 30%

Júlia Assunção de Castro Oliveira – 20%

Jorge Nei Brito – 20%

Teresa Cristina Bessa Nogueira Assunção – 30%