



## Potencial de Melhoria do Desempenho Energético e Redução de Emissões Utilizando a Norma ISO 50.000

### *Potential for Improving Energy Performance and Reducing Emissions Using ISO 50,000*

NOGUEIRA, Renzo Tanos da Silva Santos<sup>1</sup>; RODRÍGUEZ, Carlos Eymel Campos<sup>2</sup>; renzo.tanos@gmail.com<sup>1</sup>; carloscampos@unifei.edu.br<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>Bacharel em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itabira.

<sup>2</sup>Prof. Dr. em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itabira.

#### Informações do Artigo

Palavras-chave:

*Eficiência Energética*

*ISO 50001*

*ISO 50006*

Keyword:

*Energy Efficiency*

*ISO 50001*

*ISO 50006*

#### Resumo:

*A adoção de estratégias de eficiência energética nas cadeias produtivas é uma solução eficaz para reduzir custos e mitigar emissões de gases de efeito estufa, principais causadores da crise climática. Este estudo utiliza as metodologias das ISOs 50001 e 50006 para identificar o potencial de redução do consumo de energia em uma organização. Foi aplicado um gráfico de controle em dados de consumo de energia durante 21 meses para garantir a confiabilidade do modelo. Os indicadores avaliados foram linha de base, linha meta e índice de consumo. Com uma margem de erro de 8%, identificou-se um potencial de economia de 29,20 MWh/mês pela redução da variabilidade operacional e 87,84 MWh/mês pela redução do índice de consumo, totalizando 117,04 MWh/mês ou 1404,53 MWh/ano. Isso equivale a R\$ 242.506,36 economizados e 54,07 toneladas de CO<sub>2</sub>e não emitidas. Concluiu-se que a empresa tem oportunidades de melhorar sua eficiência energética, beneficiando-se da implementação das normas.*

#### Abstract

*The adoption of energy efficiency strategies in production chains is an effective solution to reduce costs and mitigate greenhouse gas emissions, the main causes of the climate crisis. This study uses the methodologies of ISOs 50001 and 50006 to identify the potential for reducing energy consumption in an organization. A control chart was applied to energy consumption data over 21 months to ensure the reliability of the model. The evaluated indicators were baseline, target line, and consumption index. With a margin of error of 8%, a potential saving of 29.20 MWh/month was identified by reducing operational variability and 87.84 MWh/month by reducing the consumption index, totaling 117.04 MWh/month or 1404.53 MWh/year. This equates to R\$ 242,506.36 saved and 54.07 tons of CO<sub>2</sub>e not emitted. It was concluded that the company has opportunities to improve its energy efficiency, benefiting from the implementation of the standards.*

## 1. Introdução

Na 21ª Conferência das Partes (COP21), foi assinado por 196 países o Acordo de Paris, que tem como objetivo geral limitar o aumento da temperatura média global a 2 °C acima dos níveis pré-industriais; contudo, os países devem buscar evitar o aumento de 1,5 °C, visto que ultrapassar esse limite pode gerar impactos severos resultantes de eventos climáticos extremos [1]. Em 2023, o primeiro inventário global baseado nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) dos países aderentes reconheceu que as emissões globais de gases de efeito estufa devem ser reduzidas em 43% até 2030, em 60% até 2035, e em 100% até 2050 [2]. O Brasil atualizou sua NDC em 2023, estabelecendo o compromisso de reduzir suas emissões em 48% até 2025, e em 53% até 2030 (ambos comparados às emissões em 2005) [3].

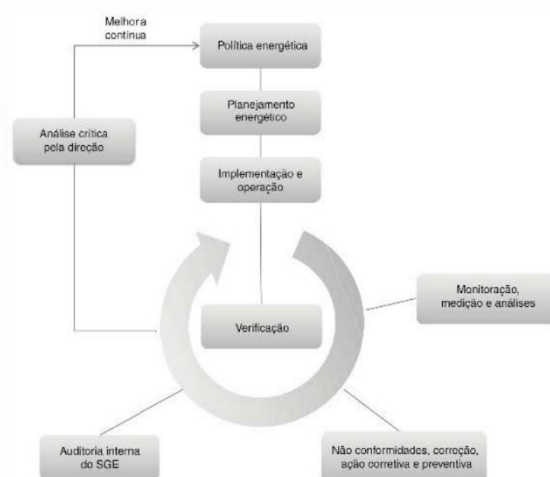
A eficiência energética é a razão ou outra relação quantitativa entre uma saída de desempenho, serviços, produtos ou energia e uma entrada de energia [4]. A promoção de medidas de eficiência energética utilizando conceitos de engenharia, economia e administração traz uma perspectiva metodológica ao processo de implementação [5]. Eficiência energética é usar menor energia para realizar o mesmo trabalho, seja através de mudanças nas tecnologias ou na gestão do uso [6]. Junto com energias renováveis, hidrogênio, biomassa e eletrificação, as ações voltadas para eficiência energética são as condutoras da transição energética. Estas medidas podem reduzir o consumo de energia, as emissões associadas à processos existentes e fomentar práticas de economia circular [7].

A norma ISO 50001 especifica requerimentos para um sistema de gerenciamento de energia que permita qualquer organização implementar e manter melhorias nas suas performances energéticas [8]. Além disso, com um sistema de gestão da energia, os processos da norma seriam adicionados à estrutura organizacional, e não seriam perdidos no caso da saída de um funcionário ou especialista técnico [9]. A ISO

50001 pode resultar em aproximadamente 16 EJ de economia anual de energia primária, e 1.000 Mton. de emissões anuais de CO<sub>2</sub>e evitadas [10].

Esta norma define um modelo de sistema de gestão da energia (SGE) que segue o fluxograma da figura 1.

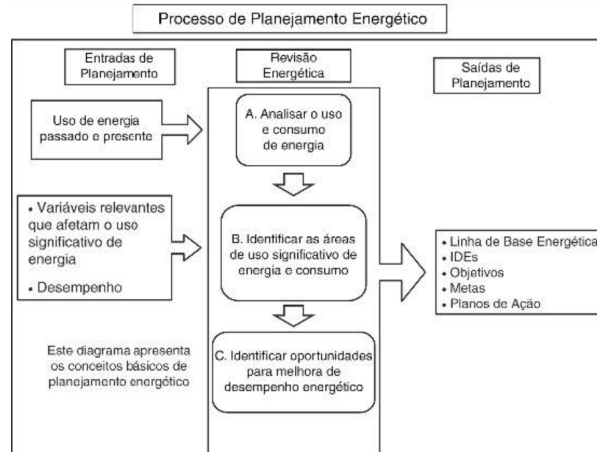
Figura 1– Modelo de Sistema de Gestão da Energia para a Norma ISO 50001.



Fonte: ISO [4]

O planejamento energético deve estar alinhado à política energética, e deve ter caráter de melhoria contínua (PDCA). A figura 2, demonstra um diagrama conceitual do processo de planejamento energético. Para a realização deste estudo, é necessário definir “uso e consumo da energia”, linha de base energética, linha meta e indicadores de desempenho energético (IDEs).

Figura 2 – Diagrama conceitual de processo de planejamento energético.



Fonte: ISO [4]

Através dos indicadores de desempenho energético (IDE) se determina se os objetivos e planos energéticos estão sendo alcançados. A ISO 50006 apresenta ferramentas e procedimentos para se medir a performance energética através de IDEs [11].

É possível definir os IDEs a partir de três tipos genéricos: valor mensurado, relação e baseado em modelo. Para calcular as mudanças na performance energética são indicadas três abordagens mais comuns: diferença energética, porcentagem de mudança, comparação por relação [11]. Neste trabalho, o potencial global de melhoria do desempenho energético será a soma do potencial de melhoria por redução da variabilidade operacional com o potencial de melhoria por redução do índice de consumo.

A redução da variabilidade operacional baseia-se no histórico de consumo energético, evidenciando as operações que apresentaram altos e baixos consumos. Para ocorrer a redução, se deve criar estratégias para replicar as condições operacionais otimizadas, buscando alcançar os objetivos da linha meta. A redução do índice de consumo (consumo de energia/produção) é alcançada ao identificar o valor mínimo deste índice referente ao nível de produtividade de um determinado sistema, máquina ou processo.

O objetivo deste trabalho é determinar o potencial de economia energética de uma empresa, baseado no processo de análise de desempenho energético das normas ISO 50001 e ISO 50006, e associar o resultado à redução de emissões de gases de efeito estufa.

## 2. Métodos

Deve-se seguir as orientações de planejamento da ISO 50001 e de definição dos IDEs da ISO 50006. Cada organização levará em consideração suas especificidades produtivas para definir quais são os IDEs que melhor representam o seu consumo energético [4]. Serão utilizados os indicadores “linha de base e linha meta energética”, e “índice de consumo”.

A base de dados utilizada para este estudo é referente ao histórico de consumo energético e produção da empresa, portanto, a revisão energética se deve iniciar com a análise de uso e consumo de energia [4]. O procedimento seguirá conforme a seguir:

- a. Plotar um gráfico em linha, com o consumo energético e produção (eixo secundário) da planta/equipamento/processo, em função do período em que estes dados foram aferidos;
- b. Plotar um gráfico de controle estatístico [12] com a variável “produção”, pois esta será comumente utilizada como variável independente;
- c. Plotar um gráfico de dispersão do consumo energético (eixo Y) em função da produção (eixo X). Realizar a regressão linear dos pontos, e identificar o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) [13];
- d. Realizar a filtragem dos dados para atender aos critérios estatísticos, respeitando o nível mínimo de amostra em função do nível de confiança [13]. Neste estudo, a filtragem será feita para atender aos critérios de Western Electric enquanto se maximiza o  $R^2$  da linha base;
- e. Identificar os pontos de consumo abaixo da linha meta. A linha meta será a regressão linear dos pontos abaixo da linha da base. Ela terá sua própria equação e  $R^2$ ;
- f. Subtrair (ponto a ponto) a equação de regressão da linha base pela equação de regressão da linha meta. Considerar este potencial como a média aritmética simples dos potenciais em todo o período analisado.

Para calcular o potencial de economia por redução do índice de consumo, segue o proposto:

- g. Identificar os índices de consumo reais para cada nível de produção (consumo real/produção real);
- h. Identificar os índices de consumo da linha base (utilizando a equação de linha base rearranjada):

$$IC_{LB} = \frac{E}{P} = \beta_1 + \frac{\beta_0}{x} \quad (1)$$

Onde:

$IC_{LB}$  = Índice de Consumo da linha base (MWh/Ton)

$E$  = Consumo de Energia (MWh/mês)

$P$  = Toneladas processadas (Ton/mês)

$\beta_0$  = Coeficiente linear da linha base

$\beta_1$  = Coeficiente angular da linha base

- i. Plotar um gráfico de dispersão dos índices de consumo real (ICreal) e linha base (ICLB) em função da produção;
- j. Encontrar a produção crítica através do método gráfico ou analítico (mais detalhes na seção 3);
- k. Calcular o potencial de economia multiplicando a produção média pela diferença entre o índice de consumo médio e o índice de consumo da produção crítica (mais detalhes na seção 3).

### 3. Resultados e discussão

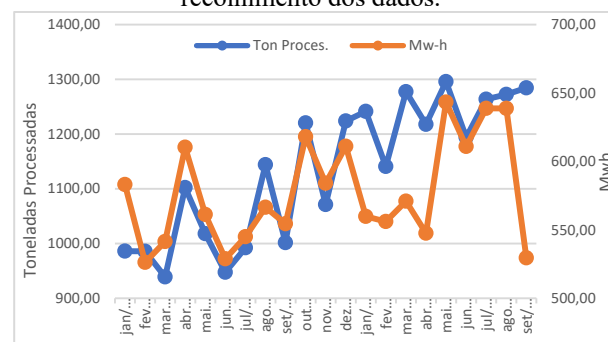
#### 3.1 Análise de uso e consumo da energia

A implementação de um sistema de gestão de energia, conforme as normas ISO 50001 e ISO 50006, é aplicável a qualquer organização, independentemente de tamanho e setor [4]. Serão utilizados dados de uma empresa frigorífica no Brasil que nunca teve um sistema de gestão de energia. Os dados analisados para economia não foram tratados e nem submetidos a condições prévias de controle de processos. As toneladas processadas referem-se à produção mensal, enquanto o consumo energético abrange toda a energia utilizada pela organização, incluindo tanto o consumo diretamente ligado à produção quanto o não diretamente ligado. A entrada de energia provém do uso de energia elétrica do SNI. Foram aferidos,

mensalmente, 21 valores de toneladas processadas (saída em termos de produção) e o consumo relativo à produção do mês em megawatts-hora (ANEXO A).

Os critérios adotados para o modelo matemático dos indicadores de desempenho energético são: o nível mínimo de amostra em função do nível de confiança (n), o gráfico de controle estatístico de processos, e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

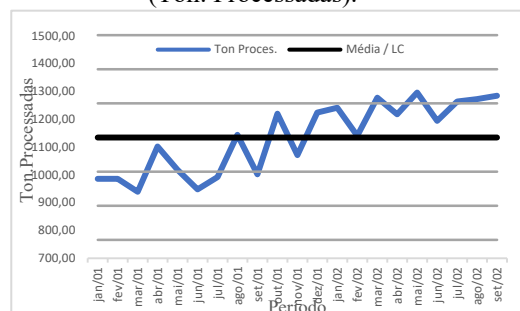
Figura 3 - Toneladas processadas e consumo energético do sistema em função do período de recolhimento dos dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar da empresa apresentar resultados favoráveis de eficiência, enfrenta dificuldades em controlar seu consumo, especialmente em abr/01, out/01 e mai/02. Há também incongruências entre produção e consumo nos meses fev/01, mar/01, jan/02, ago/02 e set/02. O gráfico de controle estatístico, conforme o ANEXO A, foi utilizado para avaliar a produção, alinhando-se ao objetivo de reduzir o consumo sem comprometer a produtividade. A curva de produção foi traçada, com a linha central representando a média de toneladas processadas (1134,47) e limites de  $1\sigma$ ,  $2\sigma$  e  $3\sigma$ , onde  $\sigma = 112,63$ .

Figura 4 - Controle estatístico referente à produção (Ton. Processadas).

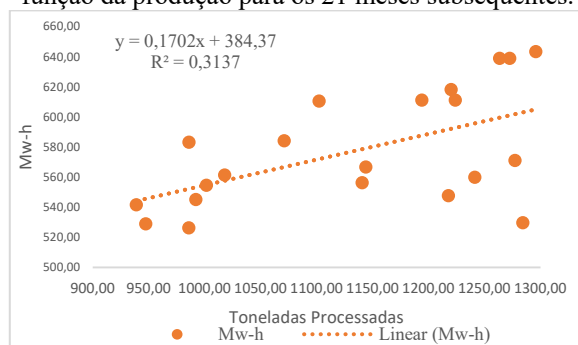


Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir de dezembro do ano 1 (dez/01), observa-se que 9 pontos consecutivos estão do lado superior da linha central, logo, consoante os critérios da regra 4 de Western Electric [12], este processo não está sob controle por um viés estatístico, o que sustenta o argumento sobre a carência de um sistema de gestão de energia.

Plotando a dispersão dos pontos da tabela 2, identifica-se que o valor de  $R^2$  calculado equivale a 31,37% de ajuste (figura 5). Como a organização não aplica métodos de controle nem possui um sistema de gestão de energia, é possível excluir dados para melhorar o ajuste à reta. Em aplicações comerciais, a exclusão deve ser acordada pela empresa mediante justificativa. Neste estudo, será analisado apenas o comportamento gráfico e o atendimento aos critérios estabelecidos.

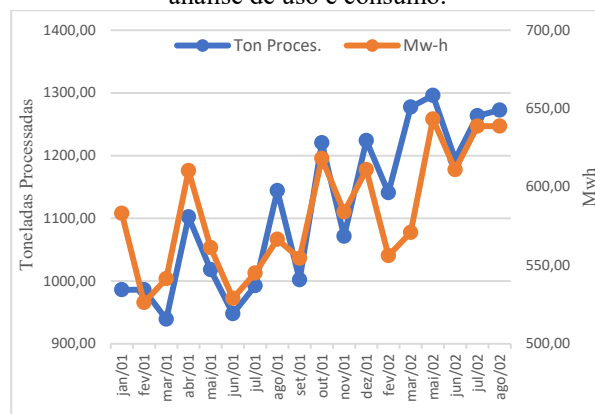
Figura 5 – Dispersão do consumo energético em função da produção para os 21 meses subsequentes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

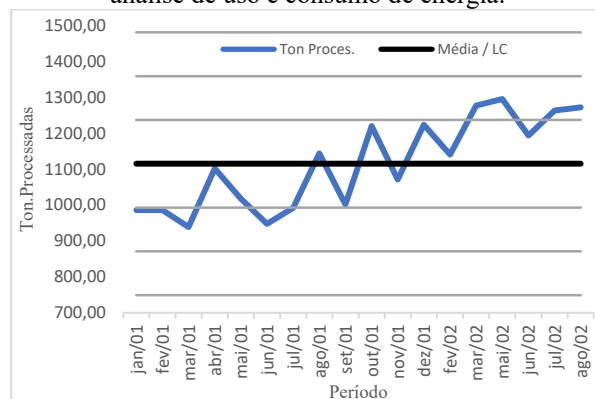
A hipótese final considerou o estudo com um nível de confiança dos dados de 92%, onde o nível mínimo de amostra ( $n=17,99$ ) permite a exclusão de 3 pontos. Foram feitas iterações de exclusão, e se conclui que os seguintes períodos sejam desconsiderados da análise: fev/02, abr/02 e set/02. A partir deste ponto, os dados utilizados não contaram com estes meses, sendo eles desconsiderados do ANEXO A. Com isso, a análise estatística após filtragem fica sendo considerada como nas figuras 6, 7 e 8 a seguir.

Figura 6 - Toneladas processadas e consumo energético do sistema em função do período após a análise de uso e consumo.



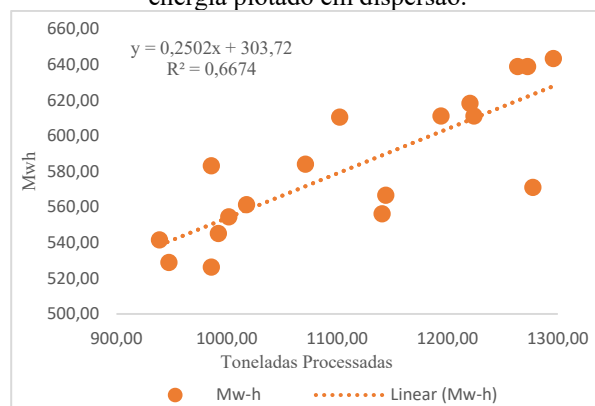
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7 - Controle estatístico referente à produção (Ton. Processadas) considerando os meses após a análise de uso e consumo de energia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Linha de base energética e consumo de energia plotado em dispersão.



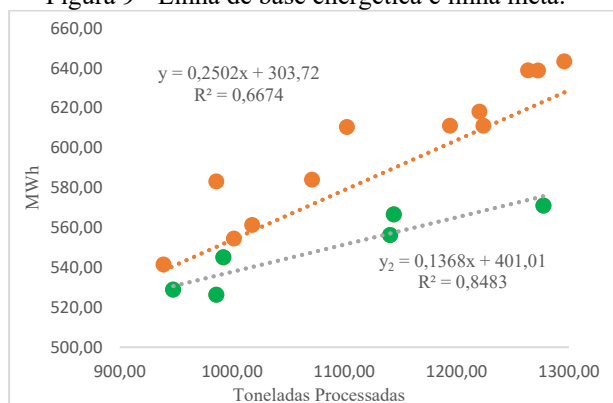
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 Potencial por redução da variabilidade operacional

Neste cálculo de potencial serão utilizadas as linhas base (figura 8) e meta energética. Para isto, a variável independente é dada em toneladas processadas de produto da planta como um todo, haja vista que desta forma se garante que o nível de produção não afetará diretamente o consumo energético.

A partir da construção da linha base de energia, é evidenciada a variabilidade de consumo energético para um determinado nível de produção, causado pela variação dos parâmetros operacionais do sistema. Com isso, a linha de meta energética é a representação dos melhores comportamentos de consumo energético, e no gráfico ela é traduzida como os pontos plotados abaixo da linha base [14]. A linha meta tem sua própria equação de regressão linear dos pontos abaixo da linha de base.

Figura 9 - Linha de base energética e linha meta.



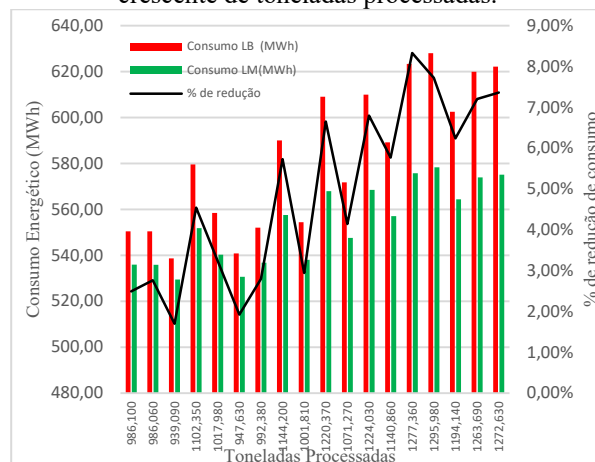
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 9, observa-se que  $R^2(y) = 0,6674$  ou 66,74%, e  $R^2(y_2) = 0,8483$  ou 84,83%, logo, os valores de  $R^2$  para linha base e linha resultam em uma análise de dados com uma regressão útil, constando ainda com uma relação forte (acima de 75%) para a linha meta [15].

Os valores obtidos para o cálculo do potencial de economia por redução da variabilidade operacional não se devem a qualquer troca de tecnologia. Os resultados são observados no ANEXO B, enquanto a

visualização gráfica está presente na figura 10 a seguir.

Figura 10 - Dados do ANEXO B plotados em ordem crescente de toneladas processadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 10 demonstra o consumo energético ao aplicar a produção (como variável independente) na equação de linha base para cada produção real aferida (barras vermelhas). Também se observa o consumo de energia ao se operar na linha meta (barras verdes), calculado utilizando a mesma lógica. A linha preta é a porcentagem de redução energética em cada mês aferido.

Dentro dos 18 períodos avaliados após a análise de uso e consumo de energia, o potencial médio de economia por variabilidade operacional resultou em 29,20 MWh/mês (cerca de 4,9% ao mês), o que equivale a uma média de economia energética de **350,41 (±28,03) MWh/ano**.

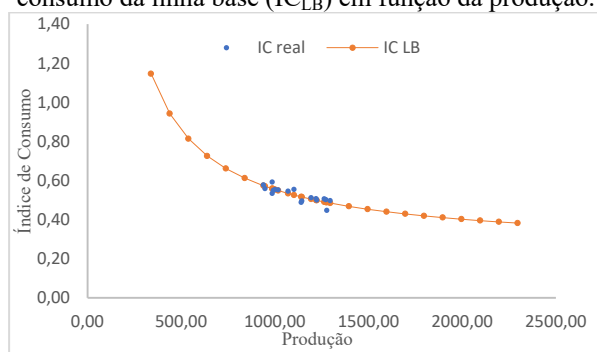
### 3.3 Potencial por redução do índice de consumo

Para este estudo, o IDE baseado em relação utilizado será o índice de consumo, que é a variação do consumo de energia por tonelada produzida. Assim, é possível conhecer o valor partir da qual a quantidade de consumo energético por unidade de produção é mínima, portanto, também são os custos produtivos atrelados ao gasto energético.



Ao traçar uma linha base para o índice de consumo com os valores reais de produção, obtém-se a variação do consumo energético relacionada apenas à quantidade produzida (IC<sub>real</sub>). Para comparação, pode-se criar uma linha de índice de consumo considerando essa variabilidade (IC<sub>LB</sub>). Na figura 11, foram utilizados dados do ANEXO C, estendendo o intervalo de toneladas processadas para IC<sub>LB</sub>, com uma progressão de -100 toneladas a partir do menor valor e +100 toneladas a partir do maior (linha vermelha), visando avaliar o estado produtivo atual da empresa em cenários quantitativos mais amplos e visualizar o comportamento gráfico.

Figura 11 – Índice de consumo real (IC<sub>real</sub>) e índice de consumo da linha base (IC<sub>LB</sub>) em função da produção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura anterior, foi identificado que o menor valor de “IC<sub>real</sub>” é 0,447 MWh/ton (melhor desempenho), o maior é 0,591 MWh/ton, e a média é 0,52 MWh/ton. A média dos valores de IC se encontra mais próxima do IC máximo do que do IC mínimo, indicando cenários com oportunidades de melhoria.

Calcular o potencial de redução do índice de consumo significa identificar os cenários de menores índices e pouca variabilidade dos ICs, para que assim as operações possam ser priorizadas dentro desta faixa. Pela abordagem metodológica, deve-se identificar a produção crítica, ou seja, a quantidade produzida a partir do qual o Índice de Consumo da Linha de Base atinge um valor

mínimo com variação subsequente muito baixa.

Para identificar a produção crítica, irá ser adotado o método gráfico, seguindo a proposta de diferença energética [11]. Usa-se preferencialmente o valor da produção crítica para concluir o mínimo cenário de economia possível. Será seguida a equação:

$$P_m * (IC_m - IC_{crit}) = \text{Potencial de economia (MWh)} \quad (2)$$

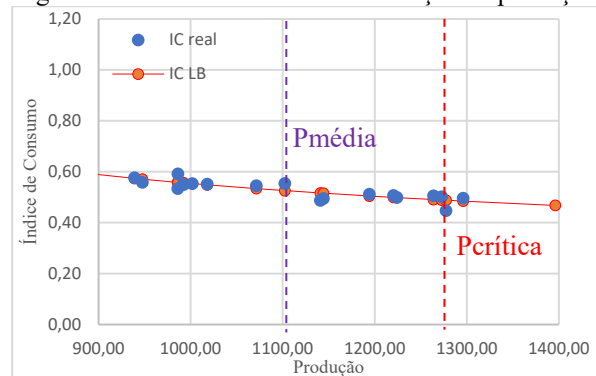
$P_m$  = Produção média da base de dados filtrada (Ton. Processadas);

$IC_m$  = Índice de consumo médio da base de dados filtrada (MWh/Ton);

$IC_{crit}$  = Índice de consumo na produção crítica (MWh/Ton).

A figura 12 é uma aproximação visual da figura 11. A linha tracejada roxa vertical é o ponto de índice de consumo médio. A linha tracejada vermelha vertical é o ponto de índice de consumo crítico.

Figura 12 - Índice de consumo em função da produção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pela análise da figura 12, é possível observar que o menor índice de consumo se destaca no intervalo produtivo entre 1250 e 1300 toneladas processadas, equivalendo à 0,45 MWh/ton. Desta forma, conclui-se que a produção crítica equivale a 1277,36 toneladas processadas. Com isso, aplicando a equação 2, com  $P_{médio} = 1115,444$  ton,  $IC_m = 0,52$  MWh/ton., e  $IC_{crit.} = 0,45$  MWh/ton, é calculado um potencial por redução do índice de consumo equivalente a **87,84 MWh/mês**,

em média, ou seja, **1.054,12 ( $\pm 84,33$ ) MWh/ano.**

### **3.4 Potencial global de melhoria do desempenho energético**

O potencial global de economia é a soma de todos os potenciais parciais previamente calculados. Foi calculado um potencial de economia de energia por redução da variabilidade operacional de 350,41 ( $\pm 28,03$ ) MWh/ano, e um potencial de economia por redução do índice de consumo de 1.054,12 ( $\pm 84,33$ ) MWh/ano, resultando em um potencial global de 1.404,53 ( $\pm 112,36$ ) MWh/ano. Em média, a aplicação das medidas de eficiência energética pode gerar para a empresa uma economia de energia elétrica de aproximadamente 20% por ano (ANEXO D).

Para calcular o potencial de redução de emissões, utiliza-se o fator de emissão disponibilizado pelo MCTI em 2023, sendo 0,0385 tCO<sub>2</sub>e/MWh, o que resulta em um potencial de redução de 54,07 ( $\pm 4,33$ ) tCO<sub>2</sub>e/ano [16]. Esta quantidade de emissões é aproximadamente equivalente à construção de 3 residências unifamiliares de 80m<sup>2</sup> [17], ou então, 240 viagens de carro à gasolina, 75 viagens de ônibus, ou 280 viagens de avião ida e volta entre Goiânia e Rio de Janeiro [18].

Por outro lado, para calcular o potencial de redução de custos, multiplica-se o mesmo potencial global de economia pelo custo média da tarifa de energia (TE) elétrica no Brasil, que equivale a 172,66 R\$/MWh. As condições deste valor são as que seguem [19]:

- Fim da vigência da TE no ano de 2023;
- Subgrupos A1, A2 e A3 (unidades consumidoras de alta tensão);
- Modalidade Bandeira Azul;

Portanto, o resultado em economia de capital é de 242.506,15 ( $\pm 19.400,51$ ) R\$/ano.

## **4. Considerações finais**

O cálculo de potencial de economia baseado nas normas ISO 50001 e ISO 50006 em uma empresa frigorífica brasileira resultou em economias significativas nos custos de energia e na redução de emissões de gases de efeito estufa. O estudo considerou dados reais de consumo energético e produção ao longo de 21 meses, com uma margem de erro de 8%.

Com a adoção de medidas de controle e priorização de operações em zonas de baixos índices de consumo, o potencial global de economia energética varia entre 1292,17 e 1516,89 MWh/ano (aproximadamente 20% ao mês), resultando em uma redução de 54,07 ( $\pm 4,33$ ) tCO<sub>2</sub>e/ano e uma economia de cerca de R\$ 242.506,26 por ano.

O trabalho destacou a importância de métodos estatísticos, como gráficos de controle e regressões lineares, para identificar potenciais de economia energética. A escolha adequada dos índices de consumo permite que analistas verifiquem mudanças no consumo e na eficiência de energia.

A análise sugere que a empresa considere a certificação ISO 50001 e 50006, avaliando aspectos estratégicos, econômicos e de sustentabilidade. A adesão rigorosa aos passos estabelecidos nas normas é crucial para resultados eficazes. Os dados refletem cenários passados e não incluíram análises conjuntas com representantes da empresa, mas o verdadeiro valor das normas está no monitoramento contínuo das condições de uso e consumo de energia.

Recomenda-se que a empresa implemente uma coleta diária de dados para aumentar a precisão do modelo. Futuros trabalhos podem incluir a lista de equipamentos e áreas de maior consumo energético, aplicando o Diagrama de Pareto para identificar os principais consumidores. Também é sugerido o mapeamento de parâmetros operacionais que afetam o desempenho energético dos equipamentos, permitindo uma melhor compreensão da influência operacional e das condições ambientais no consumo final de energia.



## 5. Referências

- [1] ONU. Organização das Nações Unidas. *Paris Agreement*. Unfccc.int, 2015.
- [2] ONU. *Framework Convention on Climate Change. First global stocktake: Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement. Outcome of the first global stocktake*, [S. l.], p. 1-21, 13 dez. 2023.
- [3] GOVERNO FEDERAL (Brasil). Ministério do Meio Ambiente e Mudança Climática. *Marina anuncia na ONU correção da meta climática brasileira*. Gov.br, 21 set. 2023.
- [4] ISO (Rio de Janeiro). ABNT. *ABNT NBR ISO 50001: Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso*. [S. l.: s. n.], 2011. 1-32 p.
- [5] SANTOS, A. H. M et al. *Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações*. 3ª. ed. [S. l.: s. n.], 2006.
- [6] KHAN, A. et al. *Efficacy of CO<sub>2</sub> emission reduction strategies by countries pursuing energy efficiency, nuclear power, and renewable electricity*. *Energy*, Science Direct, v. 300, p. 131418, 23 abr. 2024.
- [7] IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO. 2023. *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report*. World Bank, Washington DC. © World Bank. License: Creative Commons Attribution—NonCommercial 3.0 IGO (CC BY-NC 3.0 IGO).
- [8] FUCHS, H. et al. *Identification of drivers, benefits, and challenges of ISO 50001 through case study content analysis*. *Energy Policy*, Science Direct, v. 142, p. -, 28 abr. 2020.
- [9] TZIPERMAN, E. *GLOBAL WARMING SCIENCE: A Quantitative Introduction to Climate Change and Its Consequences*. [S. l.]: PRINCETON UNIVERSITY PRESS, 2022.
- [10] MCKANE, A. et al. *Predicting the quantifiable impacts of ISO 50001 on climate change mitigation*. *Energy Policy*, Science Direct, v. 107, p. 278-288, 4 maio 2017.
- [11] ISO. *ISOCD 50006 Measuring Energy Performance using Energy Baselines & Energy Performance Indicators*. ISO TC 242 N 120. ed. [S. l.: s. n.], 2012. 1-54 p.
- [12] MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Fifth Edition. ed. [S. l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2011. 790 p.
- [13] MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. *Introduction to Linear Regression Analysis*. Fifth Edition. ed. [S. l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2012. 872 p.
- [14] BATLLE, E. A. O. et al. *A methodology to estimate baseline energy use and quantify savings in electrical energy consumption in higher education institution buildings: Case study, Federal University of Itajuba (UNIFEI)*. *Journal of Cleaner Production*, [S. l.], p. 1-18, 24 set. 2019.
- [15] QUININO, R. C.; REIS, E. A.; BESSEGATO, L. F. *O coeficiente de determinação R<sup>2</sup> como instrumento didático para avaliar a utilidade de um modelo de regressão linear múltipla*. Belo Horizonte: UFMG, 1991.
- [16] MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (Brasília). *Fator médio - Inventários corporativos*. Fatores de emissão MDL/SIN, 2024.
- [17] LIMA, E. M. de et al. *Quantificação de CO<sub>2</sub> emitido decorrente dos materiais empregados na construção de uma residência unifamiliar*. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2018, [S. l.], 21 ago. 2018.
- [18] PEREIRA, R. P. T.; GALO, N. R. *Análise das emissões de alternativas de transporte turístico de um participante*

do 20º Rio de Transportes. Revista de Administração, Sociedade e Inovação (RASI), [S. l.], v. 10, n. 2. 7 maio 2024. DOI <https://doi.org/10.20401/rasi.10.2.913>.

[19] ANEEL (Brasil). Governo Federal. *Base de Dados das Tarifas das Distribuidoras de Energia Elétrica*. <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/tarifas-e-informacoes-economico-financeiras>, 2024b.

## 6. Anexos e Apêndices

### ANEXO A

Tabela 1 - Dados aferidos de toneladas processadas e consumo de energia em 21 meses

| Período | Ton Proces. | Mwh    | Período | Ton Proces. | Mwh    |
|---------|-------------|--------|---------|-------------|--------|
| jan/01  | 986,10      | 583,14 | dez/01  | 1224,03     | 611,06 |
| fev/01  | 986,06      | 526,26 | jan/02  | 1241,53     | 559,84 |
| mar/01  | 939,09      | 541,48 | fev/02  | 1140,86     | 556,19 |
| abr/01  | 1102,35     | 610,45 | mar/02  | 1277,36     | 571,00 |
| mai/01  | 1017,98     | 561,26 | abr/02  | 1217,91     | 547,55 |
| jun/01  | 947,63      | 528,86 | mai/02  | 1295,98     | 643,34 |
| jul/01  | 992,38      | 545,07 | jun/02  | 1194,14     | 611,04 |
| ago/01  | 1144,20     | 566,59 | jul/02  | 1263,69     | 638,83 |
| set/01  | 1001,81     | 554,47 | ago/02  | 1272,63     | 638,81 |
| out/01  | 1220,37     | 618,13 | set/02  | 1284,43     | 529,61 |
| nov/01  | 1071,27     | 584,04 |         |             |        |

Fonte: Elaborado pelo autor.

### ANEXO B

Tabela 2 – Cálculo do potencial de economia base na redução da variabilidade operacional ao atingir o consumo da linha meta.

| Período | Produção | Consumo Real (MWh) | Consumo LB (MWh) | Consumo LM (MWh) | Potencial de economia (MWh) | % de redução |
|---------|----------|--------------------|------------------|------------------|-----------------------------|--------------|
| jan/01  | 986,100  | 583,140            | 550,44           | 535,91           | 14,53                       | 2,49%        |
| fev/01  | 986,060  | 526,260            | 550,43           | 535,90           | 14,53                       | 2,76%        |
| mar/01  | 939,090  | 541,480            | 538,68           | 529,48           | 9,20                        | 1,70%        |
| abr/01  | 1102,350 | 610,450            | 579,53           | 551,81           | 27,72                       | 4,54%        |
| mai/01  | 1017,980 | 561,260            | 558,42           | 540,27           | 18,15                       | 3,23%        |
| jun/01  | 947,630  | 528,860            | 540,82           | 530,65           | 10,17                       | 1,92%        |
| jul/01  | 992,380  | 545,070            | 552,01           | 536,77           | 15,25                       | 2,80%        |
| ago/01  | 1144,200 | 566,590            | 590,00           | 557,54           | 32,46                       | 5,73%        |
| set/01  | 1001,810 | 554,470            | 554,37           | 538,06           | 16,32                       | 2,94%        |
| out/01  | 1220,370 | 618,130            | 609,06           | 567,96           | 41,10                       | 6,65%        |
| nov/01  | 1071,270 | 584,040            | 571,75           | 547,56           | 24,19                       | 4,14%        |
| dez/01  | 1224,030 | 611,060            | 609,97           | 568,46           | 41,52                       | 6,79%        |
| fev/02  | 1140,860 | 556,190            | 589,16           | 557,08           | 32,08                       | 5,77%        |
| mar/02  | 1277,360 | 571,000            | 623,32           | 575,75           | 47,56                       | 8,33%        |
| mai/02  | 1295,980 | 643,340            | 627,97           | 578,30           | 49,67                       | 7,72%        |
| jun/02  | 1194,140 | 611,040            | 602,49           | 564,37           | 38,13                       | 6,24%        |
| jul/02  | 1263,690 | 638,830            | 619,90           | 573,88           | 46,01                       | 7,20%        |
| ago/02  | 1272,630 | 638,810            | 622,13           | 575,11           | 47,03                       | 7,36%        |

Fonte: Elaborado pelo autor.

## ANEXO C

Tabela 3 – Cálculo dos índices de consumo real (ICreal) e índice de consumo da linha base (ICLB), em função da produção.

| Período | Produção | Consumo Real (MWh) | ICreal (MWh/ton) | ICLB (MWh/ton) |
|---------|----------|--------------------|------------------|----------------|
| jan/01  | 986,100  | 583,140            | 0,591            | 0,558          |
| fev/01  | 986,060  | 526,260            | 0,534            | 0,558          |
| mar/01  | 939,090  | 541,480            | 0,577            | 0,574          |
| abr/01  | 1102,350 | 610,450            | 0,554            | 0,526          |
| mai/01  | 1017,980 | 561,260            | 0,551            | 0,549          |
| jun/01  | 947,630  | 528,860            | 0,558            | 0,571          |
| jul/01  | 992,380  | 545,070            | 0,549            | 0,556          |
| ago/01  | 1144,200 | 566,590            | 0,495            | 0,516          |
| set/01  | 1001,810 | 554,470            | 0,553            | 0,553          |
| out/01  | 1220,370 | 618,130            | 0,507            | 0,499          |
| nov/01  | 1071,270 | 584,040            | 0,545            | 0,534          |
| dez/01  | 1224,030 | 611,060            | 0,499            | 0,498          |
| fev/02  | 1140,860 | 556,190            | 0,488            | 0,516          |
| mar/02  | 1277,360 | 571,000            | 0,447            | 0,488          |
| mai/02  | 1295,980 | 643,340            | 0,496            | 0,485          |
| jun/02  | 1194,140 | 611,040            | 0,512            | 0,505          |
| jul/02  | 1263,690 | 638,830            | 0,506            | 0,491          |
| ago/02  | 1272,630 | 638,810            | 0,502            | 0,489          |

Fonte: Elaborado pelo autor.

## ANEXO D

Tabela 4 – Resultado do potencial de economia de energia global.

| Período | MWh Cons. (real) | Potencial de economia por redução da variabilidade operacional | Potencial de economia por redução do índice de consumo | MWh pós economia | % de economia |
|---------|------------------|--|--|------------------|---------------|
| jan/01  | 583,14           | 14,53  | 87,84  | 480,76           | 17,56%        |
| fev/01  | 526,26           | 14,53  | 87,84  | 423,89           | 19,45%        |
| mar/01  | 541,48           | 9,20   | 87,84  | 444,43           | 17,92%        |
| abr/01  | 610,45           | 27,72  | 87,84  | 494,89           | 18,93%        |
| mai/01  | 561,26           | 18,15  | 87,84  | 455,27           | 18,88%        |
| jun/01  | 528,86           | 10,17  | 87,84  | 430,85           | 18,53%        |
| jul/01  | 545,07           | 15,25  | 87,84  | 441,98           | 18,91%        |
| ago/01  | 566,59           | 32,46  | 87,84  | 446,28           | 21,23%        |
| set/01  | 554,47           | 16,32  | 87,84  | 450,31           | 18,79%        |
| out/01  | 618,13           | 41,10  | 87,84  | 489,19           | 20,86%        |
| nov/01  | 584,04           | 24,19  | 87,84  | 472,00           | 19,18%        |
| dez/01  | 611,06           | 41,52  | 87,84  | 481,70           | 21,17%        |
| fev/02  | 556,19           | 32,08  | 87,84  | 436,26           | 21,56%        |
| mar/02  | 571,00           | 47,56  | 87,84  | 435,59           | 23,71%        |
| mai/02  | 643,34           | 49,67  | 87,84  | 505,82           | 21,38%        |
| jun/02  | 611,04           | 38,13  | 87,84  | 485,07           | 20,62%        |
| jul/02  | 638,83           | 46,01  | 87,84  | 504,97           | 20,95%        |
| ago/02  | 638,81           | 47,03  | 87,84  | 503,94           | 21,11%        |

Fonte: Elaborado pelo autor