

RESSALVA

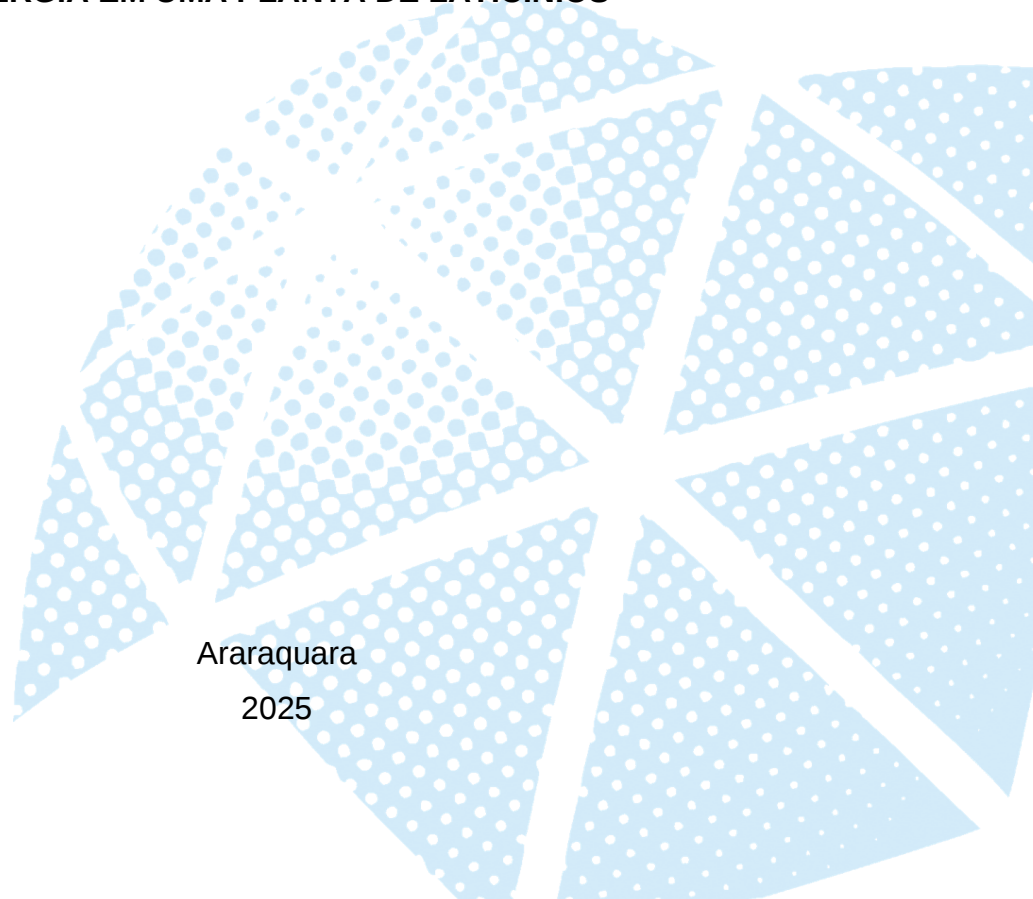
Atendendo solicitação do autor, o texto completo deste documento será disponibilizado somente a partir de 20/10/2027.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Campus de Araraquara

DIOGO FLEURI MONTERO

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE GESTÃO ESTRATÉGICA DE
ENERGIA EM UMA PLANTA DE LATICÍNIOS**

Araraquara
2025



DIOGO FLEURI MONTERO

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE GESTÃO ESTRATÉGICA DE
ENERGIA EM UMA PLANTA DE LATICÍNIOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos.

Área de concentração: Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos.

Orientador: Prof. Dr. Elias de Souza Monteiro Filho

Araraquara

2025

M778d Montero, Diogo Fleuri.
Desenvolvimento de um modelo de gestão estratégica de energia
em uma planta de laticínios. / Diogo Fleuri Montero. – Araraquara, 2026.

86 f. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos. Área de concentração: Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos

Orientador: Elias de Souza Monteiro Filho.

1. Indústria de laticínios. 2. Eficiência industrial. 3. Análise energética. 4. Sustentabilidade. 5. Lean Six Sigma (LSS). 6. ISO 50001.
I. Monteiro Filho, Elias de Souza, orient. II. Título.

Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP - Campus de Araraquara
Vilma Bruna Mastelari Costa - CRB 8/10938

CAPES: 33004030170P0
Esta ficha não pode ser modificada

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa desenvolveu e validou um modelo prático de gestão estratégica de energia (ISO 50001 + Lean Six Sigma) aplicável e replicável na indústria alimentícia. O método melhora eficiência, reduz desperdícios de utilidades e custos, e fortalece responsabilidade ambiental e competitividade (ODS 6, 7, 9, 12 e 13).

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research developed and validated a practical strategic energy-management model (ISO 50001 + Lean Six Sigma) that is applicable and replicable across the food industry. The method improves efficiency, reduces utilities waste, costs, and strengthens environmental responsibility and competitiveness (SDGs 6, 7, 9, 12 and 13).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Desenvolvimento de um Modelo de Gestão Estratégica de Energia em uma Planta de Laticínios.

AUTOR: DIOGO FLEURI MONTERO

ORIENTADOR: ELIAS DE SOUZA MONTEIRO FILHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos, área: Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ELIAS DE SOUZA MONTEIRO FILHO (Participação Virtual) Departamento de Engenharia Química / Instituto de Química - UNESP - Araraquara

Prof. Dr. FERNANDO MASARIN (Participação Virtual) Departamento de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Farmacêuticas - UNESP - Araraquara

Profa. Dra. CHRISTIANNE ELISABETE DA COSTA RODRIGUES (Participação Virtual) Departamento de Engenharia de Alimentos / Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - USP - Pirassununga

Araraquara, 20 de outubro de 2025

RESUMO

Este estudo desenvolveu e validou um modelo de gestão estratégica de energia para uma planta de laticínios com processamento a Ultra-high Temperature (UHT), integrando a norma internacional de gestão de energia 50001 (ISO 50001) à metodologia Lean Six Sigma (LSS) por meio do ciclo Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar (DMAIC). A abordagem combinou revisão energética, priorização por Pareto e Ishikawa, análise técnico-econômica via Curvas de Custo e Potencial de Conservação Energética (CCPC) e um pacote estatístico composto por comparações pré-pós, séries temporais com regressão segmentada, Interrupted Time Series (ITS), e cartas de controle de Individuais e Amplitude Móvel (I-MR), com normalização por produção para afastar efeito escala. Na comparação entre janeiro de 2024 a fevereiro de 2025 e março a setembro de 2025, observaram-se reduções estatisticamente significativas e operacionalmente relevantes: eletricidade -4,77% (-23.924 kWh), vapor -6,61% (-48,49 t), água -14,17% (-2.594,6 m³) e custo -7,31% (-R\$ 35.677), com p valores < 0,01 e tamanhos de efeito elevados, evidenciando mudança real de patamar de desempenho. A normalização por produção confirmou ganhos intrínsecos de eficiência, relacionando as variáveis a milhões de unidades produzidas no período analisado e inferindo as intensidades abaixo das metas (kWh/M, t/M, m³/M e R\$/M). Os resultados demonstram a efetividade da integração entre a Norma 50001 e a metodologia LSS na gestão energética industrial, ao combinar governança, análise quantitativa robusta e controle estatístico para consolidar economias materiais e sustentáveis. O modelo tem potencial de replicação em outras plantas, oferecendo um caminho prático para eficiência operacional, redução de custos e responsabilidade ambiental no setor de processamento de laticínios.

Palavras-chave: sustentabilidade industrial; Lean Six Sigma (LSS); ISO 50001; eficiência operacional; processo UHT; lácteos.

ABSTRACT

This study developed and validated a strategic energy-management model for a dairy plant operating Ultra-high Temperature (UHT) processing, integrating the international energy-management standard 50001 (ISO 50001) with the Lean Six Sigma (LSS) methodology through the Define, Measure, Analyze, Implement, and Control (DMAIC) cycle. The approach combined an energy review, prioritization via Pareto and Ishikawa analyses, a techno-economic assessment using Cost and Conservation Potential Curves (CCPC), and a statistical package comprising pre-post comparisons, segmented-regression time series (Interrupted Time Series, ITS), and Individuals and Moving Range (I-MR) control charts, with production normalization to remove scale effects. Comparing January 2024–February 2025 with March–September 2025, statistically significant and operationally relevant reductions were observed: electricity –4.77% (–23,924 kWh), steam –6.61% (–48.49 t), water –14.17% (–2,594.6 m³), and cost –7.31% (–R\$ 35,677), with p-values < 0.01 and large effect sizes, indicating a genuine step-change in performance. Production normalization confirmed intrinsic efficiency gains by relating variables to millions of units produced in the period and yielding intensities below targets (kWh/M, t/M, m³/M, and R\$/M). The results demonstrate the effectiveness of integrating Standard 50001 and the LSS methodology in industrial energy management by combining governance, robust quantitative analysis, and statistical control to consolidate material and sustainable savings. The model shows replication potential in other plants, offering a practical pathway to operational efficiency, cost reduction, and environmental responsibility in the dairy-processing sector.

Keywords: industrial sustainability; Lean Six Sigma (LSS); ISO 50001; operational efficiency; UHT process; dairy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo UHT	21
Figura 2 – Diagrama de Blocos Processo UHT	21
Figura 3 – Ciclo SDCA e PDCA	25
Figura 4 – Metodologia DMAIC	31
Figura 5 – Gráfico de Pareto por Equipamentos	45
Figura 6 – Gráfico de Pareto por Utilidades	51
Figura 7 – Meta de Implementação do Projeto – Eletricidade	52
Figura 8 – Meta de Implementação do Projeto – Vapor	53
Figura 9 – Meta de Implementação do Projeto – Água	53
Figura 10 – Diagrama de Causa Efeito Eletricidade	56
Figura 11 – Diagrama de Causa Efeito Vapor	56
Figura 12 – Diagrama de Causa Efeito Água	57
Figura 13 – Curva de Custo e Potencial de Conservação Energética	64
Figura 14 – Matriz de Priorização	66
Figura 15 – Série temporal: Eletricidade com quebra em mar/2025	74
Figura 16 – Carta I: Eletricidade (KWh)	74
Figura 17 – Série temporal: Vapor com quebra em mar/2025	75
Figura 18 – Carta I: Vapor (ton)	75
Figura 19 – Matriz de correlação: Pós	76
Figura 20 – Série temporal: Água com quebra em mar/2025	76

Figura 21 – Carta I: Água (m ³)	77
Figura 22 – Matriz de correlação: período completo	77
Figura 23 – Série temporal: Custo com quebra em mar/2025	78
Figura 24 – Carta I: Custo (R\$)	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Plano de Ação	60
Quadro 1 – Plano de Ação - continuação	61
Quadro 2 – Escopo do estudo, metas e parâmetros de referência	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução dos Custos de Energia da Planta	41
Tabela 2 – Cálculo da Economia Anual Esperada	42
Tabela 3 – Mapa SIPOC	43
Tabela 4 – Distribuição de Consumo Energético Por Equipamento	44
Tabela 5 – Eletricidade, Utilidades e Custos 2023	46
Tabela 6 – Eletricidade, Utilidades e Custos 2024	47
Tabela 7 – Tempo de operação dos equipamentos	48
Tabela 8 – Potência e Eficiência dos Equipamentos	48
Tabela 9 – Avaliação Geral Limpeza CIP	49
Tabela 10 – Medições do processo UHT	49
Tabela 11 – Avaliação das Etapas de Limpeza e Esterilização	50
Tabela 12 – Custos e Economias	62
Tabela 13 – Custo e Potencial de Conservação Energética	63
Tabela 14 – Matriz de Priorização	66
Tabela 15 – Resultados Tempo de operação	68
Tabela 16 – Ganho de Eficiência dos Equipamentos	68
Tabela 17 – Otimização Processo UHT	69
Tabela 18 – Resultados Gerais Limpeza CIP e Esterilização	70
Tabela 19 – Resultados das Etapas Limpeza CIP e Esterilização	70
Tabela 20 – Comparação Estatística	72

Tabela 21 – Regressão segmentada (ITS) com quebra em mar/2025	72
Tabela 22 – Cartas I MR: estatísticas e limites calculados	73
Tabela 23 – Intensidades (média mar–set/2025)	73
Tabela 24 – Correlações de Pearson no período pós	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CCPC	Curva de Custo e Potencial de Conservação de Energia
CIP	<i>Cleaning in Place</i>
DMAIC	Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FSSC 22000	Sistema de Certificação de Segurança de Alimentos
IC95%	Intervalo de Confiança de 95%
I-MR	Cartas de Controle de Indivíduos e Amplitude Móvel
IDE's	Indicadores de Desempenho Energético
ITS	Séries Temporais Com Regressão Segmentada
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
LSS	<i>Lean Six Sigma</i>
MR	<i>Moving Range</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
RLU	<i>Relative Light Units</i>
SCADA	Supervisão, Controle e Aquisição de Dados
SDCA	Padronizar, Executar, Verificar, Agir
SEU's	<i>Significant Energy Uses</i>
SGE	Sistema de Gestão de Energia
SIPOC	<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers</i>
UHT	<i>Ultra-high Temperature</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVOS GERAIS	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1 PATENTE DE UMA PLANTA UHT TETRA PAK US 2024/0016169 A1	16
3.2 NORMA ISO 50001: SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA	21
3.3 ESTUDOS DE CASO E VALIDAÇÕES	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 SELEÇÃO DO CASO E GOVERNANÇA DO PROJETO	28
4.2 ROTEIRO DA PESQUISA E FERRAMENTAS DMAIC	29
4.3 COLETA, VALIDAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS	31
4.3.1 Revisão preliminar dos usos significativos de energia	32
4.4 ELABORAÇÃO DE CURVAS DE CUSTO E POTENCIAL (CCPC)	34
4.5 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA	35
4.6 VALIDAÇÃO TÉCNICA DE RESULTADOS	35
4.6.1 Validação do processo CIP	36
4.6.2 Validação do processo UHT	36
4.6.3 Validação das melhorias energéticas	37
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
4.8 CONSIDERAÇÕES	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1 DEFINIR	41
5.2 MEDIR	44
5.3 ANALISAR	51
5.4 IMPLEMENTAR	58
5.5 CONTROLAR	67
6 CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos, impulsionada pelo crescimento populacional e mudanças nos padrões de consumo, exerce pressão sobre os recursos naturais e energéticos (Alexandratos; Bruinsma, 2012). O setor de processamento de lácteos, essencial para atender a essa demanda, é reconhecido como um dos mais intensivos em energia, com elevados consumos de eletricidade e vapor em suas operações (Tam *et al.*, 1989; Trubetskaya *et al.*, 2023). Nesse contexto, a busca por estratégias de otimização energética e redução de emissões de gases de efeito estufa torna-se fundamental para garantir a sustentabilidade e a competitividade do setor (Shine *et al.*, 2020).

O processo de Ultra Alta Temperatura, *Ultra-high Temperature* (UHT), amplamente utilizado na indústria de laticínios para garantir a estabilidade e a segurança dos produtos lácteos, envolve diversas etapas que demandam energia, principalmente na forma de calor. Conforme detalhado na patente US 2024/0016169 A1 (Malmgren, 2024), o processo UHT tipicamente compreende o pré-aquecimento do leite, o aquecimento a altas temperaturas (135-137°C) por injeção direta de vapor ou infusão, a manutenção da temperatura por um período determinado, a homogeneização e o resfriamento.

A patente de Malmgren (2024) destaca que o aquecimento a altas temperaturas, seguido de resfriamento, permite a inativação de enzimas e a estabilização do produto, prolongando sua vida útil. No entanto, o processo UHT também apresenta oportunidades para a recuperação de calor, como o aproveitamento do calor do vapor condensado e do resfriamento do leite recém-tratado para pré-aquecer o leite de entrada, reduzindo assim o consumo total de energia (Tam *et al.*, 1989).

A Norma ISO 50001, que estabelece os requisitos para sistemas de gestão de energia (SGE), surge como um conjunto predefinido de ferramentas valiosas para auxiliar as organizações a otimizar seu consumo energético de forma sistemática e contínua (Brown; Desai, 2014; Mkhaimeir *et al.*, 2017). A implementação da ISO 50001, combinada com metodologias de melhoria contínua como o *Lean Six Sigma* (LSS), tem se mostrado eficaz para impulsionar a eficiência energética e reduzir os custos operacionais em diversos setores industriais. Trubetskaya *et al.* (2023) demonstraram a aplicação bem-sucedida do LSS em uma planta de lácteos na Irlanda,

resultando em uma redução significativa do consumo de energia e das emissões de dióxido de carbono.

A metodologia de pesquisa adotada nesta dissertação se baseia em um estudo de caso único, seguindo a abordagem Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar (DMAIC). O estudo de caso foi realizado em uma planta de processamento de lácteos, permitindo uma análise aprofundada e contextualizada do problema (Yin, 2009).

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um modelo de gestão estratégica de energia para a planta de processamento UHT de produtos lácteos, alcançou os objetivos propostos, evidenciando-se como uma iniciativa bem-sucedida tanto em termos de eficiência energética quanto de sustentabilidade. O projeto demonstrou que a integração dessas metodologias é viável e altamente eficaz para a otimização de processos industriais, especialmente em um setor tão dependente de recursos energéticos como o de processamento de lácteos.

Os objetivos do projeto foram efetivamente alcançados, com melhora consistente e estatisticamente robusta em todas as frentes avaliadas. Na comparação direta entre os períodos, a eletricidade caiu 4,77% (-23.924 kWh; IC95% [-29.974; -17.873]), o vapor recuou 6,61% (-48,49 t; IC95% [-63,89; -33,09]) e a água diminuiu 14,17% (-2.594,6 m³; IC95% [-3.311; -1.878]). Do ponto de vista econômico, o custo total das utilidades reduziu 7,31% (-R\$ 35.677; IC95% [-46.509; -24.845]). Em todos os casos, os valores de p foram muito baixos ($p \ll 0,01$), indicando que a probabilidade de essas diferenças ocorrerem ao acaso é mínima, e os tamanhos de efeito (d de Cohen entre -2,21 e -2,79) são muito grandes, sinalizando ganhos operacionais relevantes e sustentáveis.

Quando se observa o desempenho por unidade produzida (média de mar-set/2025), os indicadores ficaram abaixo das metas estabelecidas, reforçando que a melhoria não se deve apenas a variações de volume: kWh/M ficou 1,39% melhor que a meta, t/M 1,53% melhor, m³/M 1,36% melhor e R\$/M 3,49% melhor. Em termos práticos, isso significa que a planta passou a consumir menos energia, vapor e água e a gastar menos por tonelada fabricada, ampliando sua eficiência operacional. Em conjunto, a queda de 7,31% no custo total e as intensidades pós-intervenção abaixo das metas confirmam a materialidade dos ganhos e a contribuição direta para a competitividade e a sustentabilidade ambiental da unidade.

No que diz respeito aos objetivos específicos, o projeto alcançou resultados igualmente expressivos. A aplicação das ferramentas LSS no contexto da ISO 50001 permitiu aprimorar a gestão energética, identificando e quantificando perdas. A adaptação da metodologia de elaboração de curvas de custo e potencial de conservação de energia para o contexto da planta UHT mostrou-se eficaz, permitindo a priorização de ações com maior impacto. O plano de ação para implementação do

Sistema de Gestão de Energia foi gerado e executado com sucesso, integrando as ferramentas LSS e as oportunidades de melhoria identificadas. A análise de viabilidade financeira, com base no cálculo do *Payback Time*, confirmou a rentabilidade do projeto, com um retorno do investimento em aproximadamente três anos. Por fim, os indicadores propostos para mapear e controlar os resultados ao longo do tempo demonstraram a eficácia das medidas implementadas, mas necessita de um acompanhamento contínuo, para garantir a sustentabilidade dos ganhos.

A metodologia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) foi fundamental para o sucesso do projeto, proporcionando uma estrutura organizada e sistemática para a identificação e implementação de melhorias. A fase de definir estabeleceu as bases do projeto, identificando os principais desafios e metas. A etapa de medir permitiu a coleta e análise de dados históricos de consumo energético, identificando os SEU's e priorizando as áreas de maior impacto. A fase de analisar utilizou ferramentas, como a análise de Pareto e diagramas de causa e efeito, para identificar as causas-raiz do consumo excessivo de energia. A etapa de melhorar focou na implementação de soluções práticas, como a otimização dos processos UHT, a substituição de equipamentos por modelos mais eficientes e a redução do consumo de água e vapor. Por fim, a fase de controlar permitiu visualizar ganhos estatisticamente significativos e controlar os resultados, com o monitoramento contínuo dos indicadores e a implementação de ações corretivas quando necessário.

Os resultados obtidos superaram as expectativas iniciais, demonstrando que a integração da ISO 50001 e do LSS é uma estratégia eficaz para a gestão energética em plantas industriais. Além dos benefícios financeiros, o projeto contribuiu para a sustentabilidade ambiental e melhorando sua imagem perante o mercado. Em síntese, este projeto evidenciou a importância da gestão estratégica de energia como ferramenta para a melhoria contínua de processos industriais. Os resultados alcançados reforçam a viabilidade da integração de metodologias, destacando-se como um modelo replicável para outras plantas e setores. A continuidade do monitoramento e a aplicação de práticas de melhoria contínua serão essenciais para garantir a sustentabilidade dos ganhos e a manutenção da competitividade da empresa em um mercado cada vez mais exigente em termos de eficiência e responsabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

- A. **SALTELLI**. Global sensitivity analysis: the primer. Chichester; Hoboken: John Wiley, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470725184>. Acesso em: 08 fev. 2025.
- ABNT**. NBR ISO 50001: Sistemas de gestão de energia – Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- AHMAD, A.; KHAN, A. A. The combined implementation of Green, Lean and Six Sigma approaches for achieving environmental sustainability – a review. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1224, p. 012004, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1224/1/012004>. Acesso em: 04 nov. 2024.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Roma: FAO, 2012. Disponível em: <https://www.fao.org>. Acesso em: 08 fev. 2025.
- ALVAREZ, N.; DAUFIN, G.; GÉSAN-GUIZIOU, G. Recommendations for rationalizing cleaning-in-place in the dairy industry: Case study of an ultra-high temperature heat exchanger. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 2, p. 808–821, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2760>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- ANTONY, J.; KRISHAN, N. Lean Six Sigma for Higher Education Institutions. 2012. ANTONY, J. W. et al. Cued memory reactivation during sleep influences skill learning. **Nature Neuroscience**, v. 15, n. 8, p. 1114–1116, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nn.3152>. Acesso em: 08 fev. 2025.
- BAŞARAN, A.; YILMAZ, T.; ÇIVI, C. Experimental investigation and evaluation of the thermodynamical performance of a novel hybrid design for milk pasteurization. **Thermal Science and Engineering Progress**, v. 44, p. 102028, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.102028>. Acesso em: 08 fev. 2025.
- BREYFOGLE III, F. W. **Implementing Six Sigma: smarter solutions using statistical methods**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.
- BROWN, M.; DESAI, D. The ISO 50001 Energy Management Standard: What is it and how is it changing? **Strategic Planning for Energy and the Environment**, v. 34, n. 2, p. 16–25, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10485236.2014.11008498>. Acesso em: 19 nov. 2024.
- BRUSH, A. **Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Dairy Processing Industry: An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2011. Disponível em: <https://www.energystar.gov>. Acesso em: 08 fev. 2025.
- DEA**. Curvas de Custo e Potencial de Conservação de Energia. **Nota Técnica DEA**, 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: 25 nov. 2024.

FELLOWS, P. J. **Food processing technology**: principles and practice. 4. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 28 nov. 2024.

GEORGE, M. L.; GEORGE, M. **Lean Six Sigma for Service**. New York: McGraw-Hill, 2003. Disponível em: <https://www.mheducation.com>. Acesso em: 28 nov. 2024.

HOLDSWORTH, S. D. Validation of Ultra-High Temperature Sterilization Processes in Dairy Plants. **Food Control**, v. 3, n. 2, p. 73–78, 1992. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 28 nov. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. ISO 50015: Energy management systems – Measurement and verification of energy performance of organizations – General principles and guidance. Geneva: ISO, 2014. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/56039.html>. Acesso em: 13 dez. 2024.

JOHANSSON, J. **Design and validation for Clean-in-Place (CIP) in a food process**. 2024. Trabalho acadêmico (Mestrado). Disponível em: <https://stud.epsilon.slu.se/20934/1/johansson-j-250302.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2024. (Assumi grau de Mestrado, que é comum para trabalhos acadêmicos longos no exterior).

KARCHER, P.; JOCHEM, R. Success factors and organizational approaches for the implementation of energy management systems according to ISO 50001. **The TQM Journal**, v. 27, n. 4, p. 361–381, 2015. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/TQM-06-2013-0076/full/html>. Acesso em: 13 dez. 2024.

KARTHI, S.; DEVADASAN, S. R.; MURUGESH, R. Lean Six Sigma through ISO 9001 standard-based quality management system: An investigation for research. **International Journal of Productivity and Quality Management**, v. 8, n. 2, p. 180–204, 2011. Disponível em: <https://www.inderscienceonline.com>. Acesso em: 13 dez. 2024.

KUMAR, S.; KUMAR, N. Economic analysis of energy efficiency investments in industry. **Energy Economics**, v. 51, p. 56–64, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/energy-economics>. Acesso em: 13 dez. 2024.

LADHA-SABUR, A. et al. Mapping energy consumption in food manufacturing. **Trends in Food Science & Technology**, v. 86, p. 270–280, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.034>. Acesso em: 13 dez. 2024.

LEE, T. **Using qualitative methods in organizational research**. Thousand Oaks: Sage, 1999. Disponível em: <https://us.sagepub.com>. Acesso em: 28 nov. 2024.

LUNG, R. B.; MASANET, E.; MCKANE, A. **The role of emerging technologies in improving energy efficiency**: Examples from the food processing industry. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006. Disponível em: <https://eta.lbl.gov>. Acesso em: 13 dez. 2024.

MALMGREN, B. A method and a system for producing a UHT milk product by direct UHT heating. **U.S. Patent Application n. 18/251,952**, 18 jan. 2024. Disponível em: <https://patents.google.com>. Acesso em: 15 jan. 2025.

MATTHEWS, C. R.; SMITH, B. **The Craft of Interviewing**. 3. ed. 2024. Disponível em: <https://www.routledge.com>. Acesso em: 03 jan. 2025.

MEMISI, N. et al. CIP Cleaning Processes in the Dairy Industry. **Procedia Food Science**, v. 5, p. 184–186, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.052>. Acesso em: 06 jan. 2025.

MKHAIMER, L. G.; ARAFEH, M.; SAKHRIEH, A. H. Effective implementation of ISO 50001 energy management system: Applying Lean Six Sigma approach. **International Journal of Engineering Business Management**, v. 9, 2017. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/home/enb>. Acesso em: 13 dez. 2024.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 8. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2019. Disponível em: <https://www.wiley.com/en-us/Introduction+to+Statistical+Quality+Control>. Acesso em: 12 jan. 2025.

O'REILLY, A. J. **Dairy processing heat and energy recovery**: an analysis of energy usage within the dairy processing sector in Ireland. 2017. Tese (Doutorado) - University of Limerick, Limerick, 2017. Disponível em: <https://ulir.ul.ie>. Acesso em: 15 jan. 2025. (Adicionei a instituição da tese para maior precisão ABNT).

PATTON, M. Q. **Qualitative research and evaluation methods**. 4. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2015.

PAVLENKO, N. et al. **The climate implications of using LNG as a marine fuel**. Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency, 2020. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/publications/Climate_implications_LNG_marinefuel_01282020.pdf. Acesso em: 28 nov. 2024.

PEŁKA, G. et al. Analysis of the efficiency of a batch boiler and emissions of harmful substances during combustion of various types of wood. **Energies**, v. 14, n. 20, p. 6783, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en14206783>. Acesso em: 28 nov. 2024.

PFEIFER, T.; REISSIGER, W.; CANALES, C. Integrating Six Sigma with quality management systems. **The TQM Magazine**, v. 16, n. 4, p. 241–249, 2004. Disponível em: <https://www.emerald.com>. Acesso em: 24 jan. 2025.

QUADDUS, M. A.; GOH, T. N. Electric power generation expansion: planning with multiple objectives. **Applied Energy**, v. 19, n. 4, p. 301–319, 1985. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(85\)90004-2](https://doi.org/10.1016/0306-2619(85)90004-2). Acesso em: 24 jan. 2025.

RAMIREZ, C. A.; PATEL, M.; BLOK, K. From fluid milk to milk powder: Energy use and energy efficiency in the European dairy industry. **Energy**, v. 31, n. 12, p. 1984–

2004, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.10.014>. Acesso em: 28 nov. 2024.

SHINE, P. et al. Energy consumption on dairy farms: A review of monitoring, prediction modelling, and analyses. **Energies**, v. 13, n. 5, p. 1288, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13051288>. Acesso em: 28 nov. 2024.

ESMAELIAN, S. et al. The use of soluble gas stabilization technology on food – A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 118, p. 154–166, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.015>. Acesso em: 24 jan. 2025. TAGHIZADEGAN, S. **Mastering Lean Six Sigma: advanced black belt concepts**. New York: Momentum Press, 2014.

TAM, K. W.; LEUNG, C. W.; PROBERT, S. D. Energy management in a dairy-products plant. **Applied Energy**, v. 32, n. 2, p. 83–100, 1989. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 08 fev. 2025.

TAMIME, A. Y. **Cleaning-in-Place: Dairy, Food and Beverage Operations**. Oxford: Blackwell Publishing, 2008. (Corrigi a abreviação do prenome: A. Y.).

TETRA PAK. **Imagens processo UHT**. 19 ago. 2024. Anexo à mensagem recebida. Conteúdo adaptado pelo autor.

TRUBETSKAYA, A. et al. A methodology for industrial water footprint assessment using energy-water-carbon nexus. **Processes**, v. 9, n. 2, p. 393, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr9020393>. Acesso em: 28 nov. 2024.

TRUBETSKAYA, A.; MCDERMOTT, O.; MCGOVERN, S. Implementation of an ISO 50001 energy management system using Lean Six Sigma in an Irish dairy: a case study. **The TQM Journal**, v. 35, n. 9, p. 1–24, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/TQM-08-2022-0252>. Acesso em: 28 nov. 2024.

TRUBETSKAYA, A.; MULLERS, H. Transforming a global human resource service delivery operating model using Lean Six Sigma. **International Journal of Engineering Business Management**, v. 13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/18479790211059292>. Acesso em: 13 dez. 2024.

TRUBETSKAYA, A.; SCHOLTEN, P. B. V.; CORREDIG, M. Changes towards more sustainable food packaging legislation and practices: A survey of policy makers and stakeholders in Europe. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 32, p. 100856, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100856>. Acesso em: 28 nov. 2024.

WORRELL, E. et al. Industrial energy efficiency and climate change mitigation. **Energy Efficiency**, v. 2, n. 2, p. 109–123, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9032-8>. Acesso em: 28 nov. 2024.

WU, B.; PONTE, S. Institutionalizing energy efficiency within the manufacturing industry: a computer aided framework for ISO 50001. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND INDUSTRIAL INNOVATION, 2., 2012,

Singapore. **Anais** [...]. p. 29–33. Disponível em: [suspicious link removed]. Acesso em: 28 nov. 2024. (Ajuste para congresso em anais).

YILDIRIM, N.; GENC, S. Thermodynamic analysis of a milk pasteurization process assisted by geothermal energy. **Energy**, v. 90, p. 987–996, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.003>. Acesso em: 13 dez. 2024.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. 4. ed. Thousand Oaks: Sage, 2009.

YIN, R. K. The case study as a serious research strategy. **Knowledge**, v. 3, n. 1, p. 97–114, 1981. Disponível em: <https://journals.sagepub.com>. Acesso em: 28 nov. 2024.

ZAHRAEE, S. M. et al. Application of design experiments to evaluate the effectiveness of climate factors on energy saving in green residential buildings. **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**, v. 69, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.11113/jt.v69.3460>. Acesso em: 13 dez. 2024.