

CAPÍTULO 4

ESTRATÉGIAS EFICAZES PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: ESTUDO DE CASO DE UM *RETROFIT* INDUSTRIAL

Data de submissão: 25/11/2024

Data de aceite: 02/12/2024

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Professor Permanente - Programa de Pós-Graduação Multicampi em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP/PG)
Cornélio Procópio – PR

<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Vitor Blanc Milani

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Mestrando-Programa de Pós-Graduação Multicampi em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP/PG)
Cornélio Procópio – PR

<http://lattes.cnpq.br/4504374098250296>

Emanuel Ignacio Garcia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Acadêmico - Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR

<http://lattes.cnpq.br/8501809850590859>

Marcos Antônio de Matos Laia

Universidade Federal de São João Del Rei
Departamento De Ciência Da Computação

– UFSJ

São João Del Rei - MG

<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Henrique Cavalieri Agonilha

Universidade Filadélfia (Unifil)
Londrina - PR

<http://lattes.cnpq.br/9845468923141329>

Marcos Banheti Rabello Vallim

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR

<http://lattes.cnpq.br/2326190172340055>

Angelo Feracin Neto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR

<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

Fabio Rodrigo Milanez

UniSENAIPR-Campus Londrina
Londrina-PR

<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Iago Maran Machado

Egresso Engenharia Mecânica pela
Universidade Tecnológica Federal
Cornélio Procópio - PR

<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Vicente de Lima Gongora

UniSENAIPR-Campus Londrina

Londrina-PR

<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

Jonas Reginaldo de Britto

IFTO Campus Palmas

NDA de Controle e Processos Industriais

Palmas -TO

<http://lattes.cnpq.br/4800851831765756>

Guilherme Cyrino Geromel

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP Piracicaba - SP

<http://lattes.cnpq.br/7535398878830738>

Michelle Eliza Casagrande Rocha

Egressa - Universidade Norte do Paraná – Unopar – Kroton

Londrina - PR

<http://lattes.cnpq.br/4411484670091641>

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)

Cornélio Procópio – PR

<http://lattes.cnpq.br/8619727190271505>

Andressa Haiduk

Dimension Engenharia

Ponta Grossa – PR

<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)

Cornélio Procópio – PR

<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

RESUMO: Este estudo de caso explora o *retrofit* de um forno de têmpera utilizado para tratamento térmico em uma indústria metalomecânica de Londrina, Paraná, com o objetivo de melhorar a eficiência energética e reduzir custos operacionais. O projeto incluiu a substituição de componentes desgastados, a otimização do layout do forno e o reaproveitamento de materiais como tijolos refratários, visando minimizar o consumo energético e o tempo de aquecimento. Os resultados mostraram uma redução de 44% no custo por peça, reforçando o papel do *retrofit* como uma alternativa viável para indústrias que buscam alinhar desempenho e sustentabilidade. Este capítulo oferece insights práticos para profissionais interessados em otimizar processos, reduzir custos e garantir uma maior sustentabilidade em processos industriais.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética, *Retrofit*, Forno de têmpera.

EFFECTIVE STRATEGIES FOR REDUCING ELECTRICITY CONSUMPTION IN BRAZIL: A CASE STUDY OF AN INDUSTRIAL RETROFIT

ABSTRACT: This case study addresses the retrofit of a tempering furnace in the metalworking industry in Londrina, Paraná, focusing on energy efficiency and cost reduction. The improvements included replacing worn components, optimizing the layout, and reusing materials such as refractory bricks. The project resulted in a 44% reduction in the cost per part, highlighting retrofit as a viable solution to align performance with sustainability. This chapter provides practical guidance for optimizing industrial processes.

KEYWORDS: Energy efficiency, *Retrofit*, Tempering furnace.

1 | INTRODUÇÃO

A redução do consumo de energia e o investimento em geração renovável são estratégias essenciais para o desenvolvimento sustentável no Brasil. “De acordo com o Relatório Anual de Resultados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2021), as iniciativas direcionadas à eficiência energética têm gerado impactos positivos na redução do consumo de eletricidade, além de promoverem avanços em termos de sustentabilidade no setor elétrico brasileiro.” Além disso, fontes como energia solar, eólica e biomassa podem atender à crescente demanda energética de forma sustentável. O Plano Nacional de Energia 2050 reforça que a diversificação da matriz energética é crucial para a segurança energética e o desenvolvimento econômico.

O setor industrial é destaque pelo alto consumo energético. “Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2024), o setor industrial foi responsável por 31,8% do consumo de energia elétrica no Brasil em 2023.” Medidas como manutenção preventiva e *retrofit* são fundamentais para aumentar a eficiência energética. Como ressaltado por Moro et al. (2007), a manutenção previne a degradação de equipamentos e paradas não programadas, enquanto Ilari et al. (2021) destaca que adaptações nas máquinas são essenciais para a competitividade empresarial. O *retrofit*, descrito como “um processo de modernização de um produto ou equipamento” (Schreiber, 2017), é uma solução que substitui componentes desgastados, reorganiza layouts e utiliza tecnologias modernas para melhorar o desempenho energético e prolongar a vida útil dos equipamentos.

Um estudo de caso sobre o *retrofit* de um forno de têmpera ilustra os resultados práticos dessa abordagem. “Com melhorias como substituição de componentes desgastados e reaproveitamento de materiais, foi possível alcançar uma redução expressiva no consumo de energia e no tempo de operação, além de aprimorar a qualidade do tratamento térmico das peças.” O projeto reforça a importância de um planejamento detalhado e o uso de simulações computacionais para maximizar os benefícios.

Como recomendação, empresas devem priorizar o planejamento detalhado, identificação de componentes críticos e adoção de tecnologias avançadas para garantir eficiência energética e sustentabilidade econômica.

Este trabalho está dividido da seguinte forma. A seção 2 agrupa detalhes circunscritos ao projeto proposto. Já a seção 3 discorre sobre o estudo de caso. E, Finalmente a seção 4 conclui e endereça futuros trabalhos,

2 | DETALHAMENTO DO CASO

A empresa em estudo é uma indústria metalomecânica situada na região de Londrina, Paraná, com especialização no tratamento térmico de metais e usinagem de precisão. A planta industrial ocupa uma área de 3.200 m², na qual estão distribuídos sete fornos para tratamento térmico, cinco fresadoras do tipo portal, um centro de usinagem, sete retificadoras tangenciais e uma máquina de corte a jato d'água, entre outros equipamentos.

O maquinário inclui principalmente máquinas de origem alemã e japonesa, a maioria das quais foram fabricadas nas décadas de 1970 e 1980. Esses equipamentos têm mais de 30 anos de operação, em grande parte com pouca ou nenhuma manutenção preventiva formal, o que frequentemente resulta em falhas operacionais e consumo energético elevado.

A manutenção adotada na empresa é predominantemente corretiva, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 5462 de 1994, define a manutenção corretiva como a realizada após a ocorrência de uma falha. Segundo Branco (2000) e Viana (2012), essa manutenção é essencial para restaurar a operação do processo produtivo. Lafraia (2001) acrescenta que a frequência com que a manutenção corretiva é necessária depende das condições atuais do equipamento.

Esse modelo de manutenção, apesar de comum em indústrias com maquinário antigo, gera custos operacionais altos e uma perda considerável de eficiência. Além disso, a falta de procedimentos padronizados para limpeza, lubrificação e inspeção contribui para o desgaste acelerado dos equipamentos.

O conhecimento sobre a operação e manutenção das máquinas é transmitido informalmente entre os operadores, sem treinamento formal ou documentação técnica para referência, o que leva a inconsistências no manuseio e na performance dos equipamentos.

Nesse contexto, a reforma e o *retrofit* de um dos fornos de têmpera surgiram como uma estratégia para restaurar a eficiência energética e prolongar a vida útil desse ativo crítico, trazendo melhorias significativas no consumo de energia e na confiabilidade do processo produtivo.

2.1 Estado inicial do forno e diagnóstico

O forno utilizado para o tratamento térmico na planta industrial apresentava diversos sinais de desgaste, acumulados ao longo de anos de uso contínuo, conforme podemos visualizar na Figura 1.



Figura 1: Estado do forno anterior ao *retrofit*.

Fonte: Autores, 2024.

Nota-se que sem uma manutenção preventiva regular, alguns componentes internos estavam visivelmente deteriorados, o que resultava em perdas de calor e consumo energético elevado. Além disso, a configuração interna do forno e o layout de aquecimento já não atendiam aos requisitos de uniformidade térmica necessários para a têmpera eficiente das peças, afetando diretamente a qualidade do tratamento térmico.

Foram realizadas inspeções e medições detalhadas para identificar os pontos críticos que contribuíam para o aumento no consumo de energia e na variação de temperatura dentro do forno. Dentre os principais problemas diagnosticados estavam o desgaste dos tijolos refratários, o vazamento de calor pelas portas e o excesso de energia demandado para compensar essas perdas, além da configuração inadequada dos queimadores, que contribuíam para um tempo de aquecimento mais longo que o desejado.

2.2 Planejamento do *retrofit*

Após o diagnóstico, a equipe de engenharia desenvolveu um plano de *retrofit* para melhorar a eficiência energética e a durabilidade do forno. Esse plano incluiu uma série de intervenções que visavam reduzir as perdas de calor, melhorar a uniformidade térmica e diminuir o tempo necessário para aquecer o forno até a temperatura de trabalho.

Os principais objetivos do *retrofit* foram:

- **Reducir o consumo energético:** Melhorando o isolamento térmico e a configuração dos queimadores para minimizar as perdas de calor.
- **Melhorar a uniformidade do aquecimento:** Garantindo que todas as áreas do forno alcançassem temperaturas consistentes para a têmpera das peças.
- **Diminuir o tempo de processo:** Aumentando a eficiência do forno para atingir a temperatura de trabalho em menos tempo, o que impactaria diretamente na produtividade da planta.

Com esse plano de *retrofit*, a equipe de engenharia buscou não apenas restaurar o desempenho original do forno, mas também implementar melhorias significativas em sua eficiência energética e operacional. As intervenções planejadas visavam reduzir o consumo de energia, melhorar a qualidade do tratamento térmico e aumentar a produtividade, consolidando o forno como um ativo mais eficiente e sustentável na planta industrial.

2.3 Projeto do forno em software de engenharia

Para o desenvolvimento do projeto de *retrofit* do forno de têmpera, o software SolidWorks foi escolhido como ferramenta de modelagem CAD (*Computer Aided Design*) e CAE (*Computer Aided Engineering*). Esse software permitiu à equipe de engenharia criar um modelo tridimensional detalhado do forno, com foco na otimização de componentes e na melhoria de sua eficiência energética. O uso do SolidWorks possibilitou a visualização precisa das alterações planejadas, além de permitir uma análise minuciosa do comportamento térmico e estrutural do forno, o que foi essencial para o sucesso do *retrofit*.

Inicialmente, o modelo 3D do forno foi construído com todos os seus componentes principais, incluindo a câmara de aquecimento, queimadores, isolamento térmico e portas de acesso. A modelagem detalhada permitiu à equipe identificar pontos de perda de calor e áreas com necessidade de aprimoramento na uniformidade térmica. O SolidWorks facilitou a análise e o ajuste de cada elemento do forno, garantindo que o projeto final atendesse aos objetivos de eficiência energética e redução de custos.

Na etapa de simulação, foram testados diferentes tipos de materiais para o isolamento térmico e novas configurações de queimadores. A simulação térmica no SolidWorks auxiliou a equipe a avaliar o desempenho dos materiais e a distribuição do calor ao longo da câmara do forno. Essa análise foi fundamental para definir quais materiais seriam mais adequados para melhorar a retenção de calor e minimizar as perdas, com base em propriedades como condutividade térmica e resistência ao calor.

Outra vantagem do uso do SolidWorks foi a capacidade de calcular com precisão a quantidade de materiais necessária para o projeto, o que facilitou o planejamento do reaproveitamento dos tijolos refratários ainda em boas condições. O software permitiu à equipe dimensionar o número exato de tijolos que poderiam ser reutilizados.

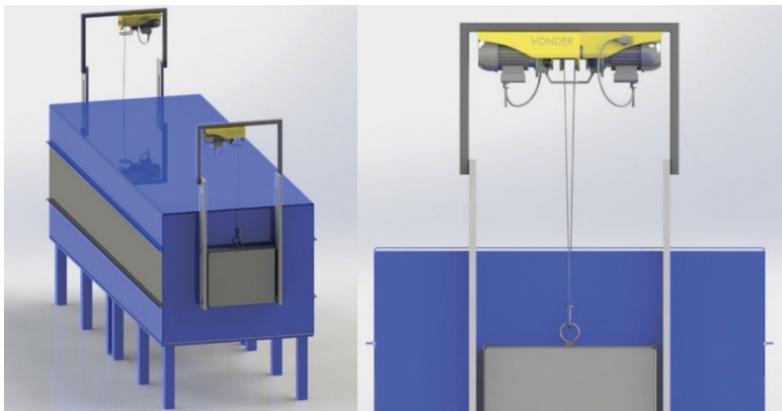


Figura 2: Projeto do forno dentro da interface gráfica SolidWorks.

Fonte: Autores, 2024.

2.4 Implementação das melhorias

A execução do *retrofit* envolveu uma série de etapas práticas, descritas detalhadamente a seguir:

1. Substituição e Reaproveitamento de Materiais: Tijolos refratários em boas condições foram reaproveitados, enquanto tijolos desgastados foram substituídos por novos. Essa substituição permitiu uma melhoria significativa na retenção de calor e o novo projeto também garantiu uma redução de 13% na quantidade de tijolos necessários, gerando uma economia no custo de aquisição.

2. Redesign do Layout e Configuração de Queimadores: A disposição interna do forno foi reorganizada para que o fluxo de calor fosse distribuído de forma mais uniforme. Além disso, a configuração dos queimadores foi ajustada para aumentar a eficiência térmica, permitindo que o forno atingisse a temperatura desejada em um tempo reduzido, passando de 510 minutos para 360 minutos.

3. Isolamento e Vedação: Para minimizar a perda de calor, as portas do forno foram equipadas com novos materiais vedantes. Essa vedação foi fundamental para reduzir o consumo energético necessário para manter a temperatura estável dentro da câmara de aquecimento.

Essas implementações podem ser observadas através da imagem a seguir, que apresenta o forno após a implementação de todas essas melhorias.

Os principais resultados que se pode observar na tabela 1 são:

- 1. Economia de Energia:** O custo com energia elétrica foi reduzido de R\$ 76,08 para R\$ 56,95 para cada ciclo de aquecimento.
- 2. Redução no Custo por Peça:** O custo médio por peça temperada caiu de R\$ 9,51 para R\$ 5,59, e o custo total por peça tratada diminuiu de R\$ 14,27 para R\$ 7,95, uma redução de 44% no custo por peça.

3. Aumento de Produtividade: Com o tempo de aquecimento reduzido, foi possível processar uma quantidade maior de peças no mesmo intervalo de tempo, ampliando a capacidade produtiva do setor de tratamento térmico.



Figura 3: Forno após implementação das melhorias.

Fonte: Autores, 2024.

2.5 Resultados observados e benefícios obtidos

Com as mudanças implementadas, o forno passou a operar com maior eficiência, refletindo em uma série de ganhos mensuráveis, como podemos verificar na tabela 1:

Indicador	Antes	Depois
Custo com energia elétrica* para se atingir a temperatura de trabalho** no forno.	R\$ 76,08	R\$ 56,95
Tempo necessário para se atingir a temperatura de trabalho**.	510 minutos	360 minutos
Custo por peça temperada.	R\$ 9,51	R\$ 5,59
Custo por peça revenida.	R\$ 4,76	R\$ 2,36
Custo total por peça (têmpera + revenimento)	R\$ 14,27	R\$ 7,95

* Utilizando como base o custo de R\$ 0,31934/kWh (tarifa COPEL para subgrupo A4 após impostos em outubro de 2019).

** A partir da temperatura ambiente.

Tabela 1: Melhorias obtidas com a reforma do forno.

Fonte: Autores, 2024.

Esse detalhamento mostra o impacto positivo das intervenções de *retrofit* na eficiência energética e na produtividade da planta, servindo como uma referência prática para futuras modernizações em equipamentos similares.

3 | DISCUSSÃO DO ESTUDO DE CASO

O *retrofit* do forno de têmpera configurou-se como uma intervenção estratégica para aprimorar a eficiência energética e elevar a produtividade da planta industrial. As modificações planejadas e executadas, abrangendo a substituição de componentes obsoletos, a reorganização do layout e o reaproveitamento de materiais, resultaram em benefícios mensuráveis, cujos detalhes serão analisados nesta seção.

3.1 Ganhos de eficiência energética e redução de custos

Antes do *retrofit*, o forno apresentava altos níveis de consumo energético devido ao isolamento térmico deficiente e à configuração ineficiente dos queimadores. Com as melhorias implementadas, o consumo de energia por ciclo de aquecimento foi reduzido de forma significativa. A nova configuração permitiu que o forno atingisse a temperatura de trabalho em um tempo menor, passando de 510 minutos para 360 minutos, o que representa uma redução de aproximadamente 29% no tempo de operação por ciclo. Esse resultado não só gerou economia direta em consumo de energia, como também impactou o custo por peça, que caiu de R\$ 14,27 para R\$ 7,95, tornando o processo de têmpera mais econômico.

A redução do custo energético total foi outro ponto positivo. Com o consumo de energia reduzido, estimou-se uma economia anual em energia elétrica de aproximadamente R\$ 10.011,60, reforçando o valor de intervenções desse tipo para empresas que buscam competitividade no mercado através da eficiência operacional.

3.2 Impacto na produtividade e qualidade do produto

Com o tempo de aquecimento reduzido e o controle térmico mais uniforme, o forno passou a oferecer uma melhor qualidade no tratamento térmico das peças. A uniformidade na distribuição de calor permitiu que as peças temperadas apresentassem propriedades mecânicas mais consistentes, reduzindo retrabalhos e aumentando a confiabilidade do produto final. Essa melhoria na qualidade impactou diretamente o índice de refugo, que foi reduzido após o *retrofit*, contribuindo para uma produção mais enxuta e eficiente.

Além disso, a capacidade de processamento foi ampliada, uma vez que o forno pôde realizar mais ciclos de têmpera no mesmo intervalo de tempo, aumentando a produtividade sem a necessidade de expandir a capacidade instalada.

3.3 Aspectos sustentáveis e reaproveitamento de materiais

O reaproveitamento de tijolos refratários em boas condições durante o *retrofit* é um exemplo de prática sustentável, alinhada à redução de custos e ao uso eficiente de recursos. Ao invés de optar pela compra de novos materiais, a empresa conseguiu reduzir cerca de 13% a quantidade de tijolos, o que contribuiu para a economia de recursos e a diminuição do impacto ambiental. Essa prática demonstra a viabilidade de ações sustentáveis no contexto industrial, reforçando que melhorias tecnológicas podem ser alcançadas de forma responsável e com menor desperdício de recursos.

3.4 Desafios enfrentados e lições aprendidas

Apesar dos resultados positivos, o projeto de *retrofit* enfrentou alguns desafios. A falta de uma cultura de manutenção preventiva e a escassez de documentação técnica atualizada para os equipamentos foram obstáculos que exigiram ajustes no planejamento e maior tempo de execução. Essas dificuldades destacaram a importância de adotar uma abordagem de manutenção proativa e de manter registros técnicos detalhados para facilitar intervenções futuras.

Esse estudo de caso reforça a importância de intervenções de *retrofit* para a modernização de equipamentos industriais, mostrando que, com um planejamento bem estruturado e foco na eficiência energética, é possível alcançar ganhos econômicos e sustentáveis significativos.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso sobre o *retrofit* de um forno de têmpera destacou os benefícios de reformas planejadas em equipamentos industriais de alto consumo energético. As ações realizadas, como substituição de componentes desgastados, reorganização do layout interno e reaproveitamento de materiais, resultaram em redução significativa no consumo de energia elétrica, custos operacionais e melhoria da qualidade dos produtos.

Com uma economia anual de cerca de R\$10.011,60 e redução de 44% no custo por peça, o projeto demonstrou ser economicamente viável e estrategicamente relevante. Além disso, promoveu uma abordagem preventiva na manutenção e reforçou práticas sustentáveis, como o reaproveitamento de materiais, contribuindo para a redução de desperdícios e impactos ambientais.

O *retrofit* se mostrou uma solução eficaz e sustentável, alinhando desempenho, economia e sustentabilidade, servindo como referência para iniciativas futuras de modernização industrial.

Futuros trabalhos Apesar dos resultados positivos, o projeto de *retrofit* enfrentou alguns desafios. A falta de uma cultura de manutenção preventiva e a escassez de

documentação técnica atualizada para os equipamentos foram obstáculos que exigiram ajustes no planejamento e maior tempo de execução. Essas dificuldades destacaram a importância de adotar uma abordagem de manutenção proativa e de manter registros técnicos detalhados para facilitar intervenções futuras.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462: Confiabilidade e manutenabilidade: Referências**. Rio de Janeiro. 1994.

BORGES, F. Q. **Crise de energia elétrica no brasil-uma breve reflexão sobre a dinâmica de suas origens e resultados**. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar, v.2, n.10, p.e210809 - e210809, 2021.

BRANCO, G. **Dicionário de termos de manutenção e confiabilidade**. Rio de Janeiro, RJ: Ciência Moderna, 2000.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras: no caminho da transição energética (Nota Técnica)**. Brasília: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT%20DEA-SEE-007-2020.pdf> . Acesso em: 18 nov. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2024 (BEM 2024)**. Brasília: EPE, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf . Acesso em: 18 nov. 2024.

FOGLIATO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier Editora, 2009.

ILARI, S.; CARLO, D. F.; CIARAPICA, F. E.; BEVILACQUA, M. **Machine tool transition from Industry 3.0 to 4.0: a comparison between old machine retrofitting and the purchase of new machines from a triple bottom line perspective**. Sustainability, v. 13, n. 18, p. 10441, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131810441>.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2001.

MORO, N.; AURAS, A. P. **Introdução à Gestão da Manutenção**. Florianópolis: Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2007.

SCHREIBER, I. F. **A relação entre o retrofit e a satisfação do usuário: Estudo de caso em uma empresa do Vale dos Sinos**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2017.

TEIXEIRA, I. R.; BARRETTO, J. N. dos S.; NAVES, L. N. C.; SOUZA NETO, M. A. S. de. **Retrofit em máquina fabricante de molas**. 2019. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2019. Disponível em: <http://repositoriosenaiba.fieb.org.br/handle/fieb/1747>. Acesso em: 18 nov. 2024

VIANA, H. R. G. **PCM: Planejamento e controle da manutenção.** Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Plano Nacional de Energia 2050.** Brasília: MME, 2020. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pne-2050>. Acesso em: 18 nov. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Relatório Anual de Resultados.** Brasília: ANEEL, 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/relatorios>. Acesso em: 18 nov. 2024.