

# REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA

FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

## SISTEMA DE GESTÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO À SIDERURGIA

#### ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT SYSTEM APPLIED TO STEEL INDUSTRY

Humberto de Sousa Megda<sup>1, i</sup> Mauro Marchesi<sup>2, ii</sup> Fabrício Ramos da Fonseca<sup>3, iii</sup> Tiago Akira Tashiro de Araújo<sup>4, iv</sup> Rita de Cássia Sartori de Araújo<sup>5, v</sup>

Data de submissão: (11/08/2023) Data de aprovação: (18/12/2023)

#### **RESUMO**

O setor de produção de aço vem demonstrando alinhamento com a agenda Environmental, Social and Governance (ESG), principalmente por motivos econômicos. Apesar do Brasil possuir ampla vantagem em sua matriz energética quando comparado a outros países, a siderurgia representa o segundo maior consumidor do setor industrial, sendo um dos principais emissores de gases de efeito estufa. Esse fato, atrelado à dificuldade na transição para fontes não-renováveis, faz com que essa seja uma área de alto apelo às iniciativas de eficiência energética. A gestão dessas ações passa obrigatoriamente pela medição e controle dos consumos de energia, que deve ocorrer desde o ponto de entrega até seu uso final nos processos. Nesse estudo de caso é analisado como essas ações estão sendo geridas em uma siderúrgica de grande porte. A empresa utiliza um Sistema de Gestão de Eficiência Energética baseado principalmente nas orientações da Norma ISO 50.001. Os resultados obtidos demonstram o surgimento de uma forte cultura de gestão e controle dos consumos de energia, fomentando discussões acerca das prioridades e até novas óticas no que diz respeito ao fluxo de energias da empresa. Por fim, construiu um fórum de melhoria contínua permanente com todos os níveis hierárquicos da empresa, devidamente referendados pela alta direção, os quais utilizam um Mapa Energético contendo um indicador chave de processo denominado Consumo Energético Global.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Mestre e Professor de Educação Superior do SENAI – Escola "Antônio Souza Noschese". E-mail: humberto.sousa@sp.senai.br

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Especialista e Professor de Educação Superior do SENAI – Escola "Anchieta". E-mail: mauro.marchesi@sp.senai.br

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Doutor e Coordenador de Atividades Técnicas do SENAI – Escola "Antônio Souza Noschese". E-mail: ffonseca@sp.senai.br

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Especialista e Professor de Educação Superior do SENAI — Escola "Antônio Souza Noschese". E-mail: tiago.araujo@sp.senai.br

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Especialista e Professora de Educação Superior do SENAI — Escola "Antônio Souza Noschese". E-mail: rsartori@sp.senai.br

Palavras-chave: eficiência energética; siderurgia; sistema de gestão.

#### **ABSTRACT**

The steel production sector has demonstrated alignment with the Environmental, Social and Governance (ESG) agenda, mainly for economic reasons. Although Brazil has a wide advantage in its energy matrix when compared to other countries, the steel industry represents the second largest consumer in the industrial sector, consequently being one of the main emitters of greenhouse gases. This fact, linked to the difficulty in the energy transition to non-renewable sources, makes this an area of high appeal for energy efficiency initiatives. The management of these actions necessarily involves measuring and controlling energy consumption, which must occur from the point of delivery to its final use in the processes. This case study analyzes how these actions are being managed in a large steel company. The company uses an Energy Efficiency Management System based mainly on the guidelines of the ISO 50.001 Standard. The results obtained demonstrate that there was the emergence of a strong culture of management and control of energy consumption, encouraging discussions about priorities and even new perspectives regarding the company's energy flow. Finally, it built a permanent continuous improvement forum with all hierarchical levels of the company, duly endorsed by senior management, which uses an Energy Map containing a key process indicator called Global Energy Consumption.

**Keywords:** energy efficiency; steel; management system.

# 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Instituto Aço Brasil (2020), o setor de produção do aço estimula o desenvolvimento econômico de determinadas esferas da sociedade por oferecer produtos predominantemente recicláveis e inovadores para a construção de um planeta sustentável. Ainda segundo o mesmo instituto (c2023), a indústria do aço desempenha um papel importante no desenvolvimento econômico do Brasil, informando que a cada R\$1 milhão de aumento de demanda do setor desse material, são gerados outros R\$2,35 milhões na economia do país.

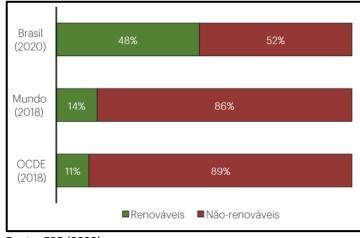
Tavares (2021) afirma que atualmente esse setor vem demostrando alinhamento com a agenda ESG, que vem sendo discutida no âmbito empresarial, causada pela mudança no comportamento da sociedade em razão dos debates na agenda ambiental do mundo, relacionados às mudanças climáticas e objetivos globais de sustentabilidade.

Ressalta-se que o mercado financeiro vem sinalizando de forma positiva à agenda ESG, onde se destaca a retomada, em 2022, do Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE B3 – 17º composição) e do Índice Carbono Eficiente (ICO2 B3 – 12º composição), segundo a B3 (2022), índices usados para aferir as ações de corporações que estão se adaptando aos métodos contemporâneos de sustentabilidade. Ainda segundo a B3, as empresas estão com maior engajamento e buscando evolucionar em suas práticas ESG. Apesar dessa evolução ser importante, é necessário que esse resultado seja apresentado para a sociedade civil, os clientes e os investidores da corporação.

Dado o contexto supracitado, a provocação que está sendo imposta às empresas é a de ressignificar os seus modelos de negócios, objetivando promover uma consistência mais completa na sua cadeia de geração de valor econômico com as questões sociais, ambientais e de governança corporativa.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2021), a matriz energética brasileira possui como atributo vantagem quando em comparação à vários outros países do mundo, fato exibido na figura 1. Na prática, há uma maior participação de fontes renováveis e por conseguinte menor emissão de gases de efeito estufa (GEE) para cada unidade de energia consumida. Fazendo um recorte dos últimos vinte anos, nota-se que a participação de fontes renováveis na oferta de energia exibiu um acréscimo de 7%, atingindo o valor de 48% em 2020.

Figura 1. Comparativo internacional de participação das fontes renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE)



Fonte: EPE (2022).

Ainda conforme a EPE, em 2020 o setor industrial brasileiro foi responsável por 34% do consumo da energia nacional, e adentrando esse setor nota-se que a metalurgia, sozinha, representou 26% desse montante, ficando na segunda posição logo após o setor de Alimentos e Bebidas, tal como mostrado na figura 2.

Figura 2. Participação dos subsetores no consumo final de energia da indústria

| Alimentos e bebidas | 5% | 7% | 7% | 7% | 9% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16% | 16%

Fonte: EPE (2022).

Considerando uma análise macro de todos os setores da economia, com base no 4º Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), as principais emissões ocorrem nos setores de uso da terra, agricultura e energia, conforme mostrado na figura 3. As emissões de gases de efeito estufa na área da

indústria aparecem na sequência desta classificação, representando aproximadamente 7% de todas as emissões de gases de efeito estufa do Brasil.

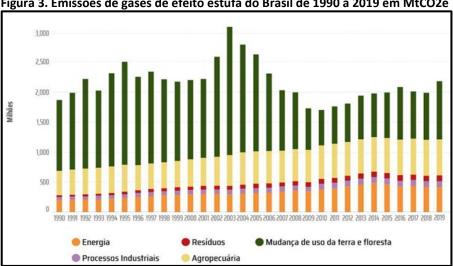


Figura 3. Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2019 em MtCO2e

Fonte: SIRENE (2022).

A exigência para que os vários setores econômicos brasileiros engajem-se em construir a economia prioritária em baixo carbono ficou mais intensa depois de 2015, ano em que o governo federal brasileiro divulgou sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, da sigla em inglês) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), compromissando-se em reduzir as emissões totais de gases de efeito estufa em 37% até o ano de 2025 e 43% até o ano de 2030, com base nas emissões relatadas no anobase 2005. No final de 2021, porém, essas metas foram atingidas antecipadamente, com divulgação na COP 26 (Conference of the Parties), que ocorreu em Glasgow.

Sendo esse um setor energeticamente intensivo e consequentemente de muitas emissões de GEE, a siderurgia apresenta um caminho com desafios a serem superados na transição energética para cumprimento da agenda ESG. A figura 4 apresenta dados assinalando que, na sua indústria de base, boa parte das fontes de energia primária (ou seja, que ainda não sofreu nenhum tipo de transformação) são não-renováveis. Este é um panorama que vem se desenhando há décadas, uma vez que o coque de carvão mineral é predominante na matriz energética.

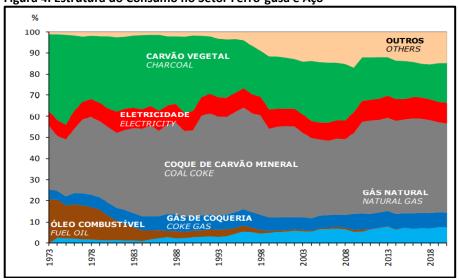


Figura 4. Estrutura do Consumo no Setor Ferro-gusa e Aço

Fonte: EPE (2022).

De acordo com Poque González (2021), a transição energética para fontes renováveis é um tópico importante no contexto atual devido aos desafios relacionados às mudanças climáticas e à busca por um desenvolvimento sustentável.

Uma das fontes de energia renovável que pode ter sua utilização aumentada na siderurgia é o gás natural. Para Linhares (2019), ele é considerado uma alternativa mais limpa em comparação com o carvão e o coque de petróleo, pois emite menos dióxido de carbono (CO2) quando queimado. O uso de gás natural em altos-fornos e fornos de recozimento, por exemplo, pode reduzir significativamente as emissões de GEE.

Além disso, a energia solar e a eólica também têm um papel proeminente na transição energética da siderurgia. A energia solar pode ser aproveitada por meio da instalação de painéis solares nos telhados dos prédios da indústria siderúrgica, fornecendo eletricidade limpa para alimentar os processos de produção. Da mesma forma, os parques eólicos podem ser estabelecidos nas proximidades das siderúrgicas para gerar energia elétrica por meio da força dos ventos. Essas fontes de energia renovável não apenas reduzem as emissões de GEE, mas também contribuem para a diversificação da matriz energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Para Oliveira, Azevedo e Hauser (2022), a combinação de fontes de energia renováveis e práticas de eficiência energética pode garantir um futuro mais sustentável para esse setor, contribuindo para a construção de uma economia de baixo carbono.

Unido ao desafio de abrandar consideravelmente a emissão dos GEE em uma unidade fabril que é movida sobretudo à base de carbono e energia térmica oriundas de fontes não renováveis, também se apresentam como preocupação todas as questões referentes à concorrência comercial desse setor, o que só será aprovado se trouxer como garantia a redução nos custos operacionais relacionados à energia. Na maior parte das siderúrgicas, o custo da energia representa até 40% do total de produção, conforme informações publicadas pela WSA (2020).

# 2 REVISÃO DE LITERATURA

Pires (2022) afirma que a eficiência energética é reconhecida como uma das principais medidas que podem ser tomadas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa em processos industriais, já que proporciona uma gestão otimizada de todas as etapas produtivas e, simultaneamente, incorpora soluções de engenharia que objetivam a descarbonização.

Do mesmo modo, projetos de eficiência energética contribuem para proporcionar ganhos relacionados à redução da poluição atmosférica regional, citando-se como exemplos a redução das emissões de partículas de material e do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). Além disso, otimiza o uso dos recursos naturais disponíveis, reduzindo, futuramente, o impacto ambiental relacionado ao seu esgotamento.

Conforme divulgado pela IEA (2021), a eficiência energética deve ser o primeiro passo a ser seguido, já que normalmente apresenta a opção mais limpa e, na maioria dos casos, menos custosa de atender às necessidades energéticas do sistema. Portanto, não há caminho crível para as emissões líquidas zero que não passe por utilizar os recursos energéticos da forma mais eficiente. E isso passa obrigatoriamente por normatização.

A ISO 50000 são uma série de normas internacionais que estabelece diretrizes e requisitos para a gestão de energia nas organizações, abordando a gestão de energia de forma sistemática. Dentro dessa série, a Norma ISO 50001 trata do Sistema de Gestão de Energia (SGE), fornecendo orientações detalhadas sobre como uma organização pode estabelecer, implementar, manter e melhorar um SGE eficaz. O objetivo principal da Norma ISO 50001 é ajudar as organizações a otimizarem o uso de energia, reduzindo custos e impactos ambientais associados (ISO, 2018).

A ISO 50001 baseia-se no ciclo de melhoria contínua PDCA (*Plan-Do-Check-Act*). Isso significa que a organização deve planejar suas atividades relacionadas à gestão de energia, implementar essas atividades, verificar sua eficácia e tomar ações corretivas para melhorar continuamente o desempenho energético. A implementação dessa norma pode facilitar o cumprimento de regulamentos e leis relacionadas à energia e ao meio ambiente (ISO, 2018).

Os sistemas de gestão de energia e eficiência têm se tornado relevantes para empresas brasileiras que buscam otimizar o consumo de energia e reduzir os impactos ambientais. Um exemplo é a WEG, fabricante de equipamentos elétricos. A empresa implantou um sistema de gestão de energia baseado na norma ISO 50001. Esse sistema permitiu que a empresa pudesse monitorar e controlar seus consumos de energia, identificar oportunidades de melhorias e implementar medidas para aumentar a eficiência energética em suas operações (WEG, c2023).

Outra empresa brasileira que também implantou um sistema de gestão de energia e eficiência foi a AMBEV, cervejaria multinacional. Ela adotou um programa chamado "Energia Inteligente", que tem como objetivo promover a eficiência energética em todas as suas unidades fabris. A empresa investiu em tecnologias avançadas, como a utilização de sistemas de cogeração e painéis solares, visando reduzir o consumo de energia e minimizar a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, também implementou práticas de gestão de energia em sua cadeia de suprimentos, engajando fornecedores e parceiros na busca por uma operação mais sustentável (AMBEV, 2022).

Mais um exemplo é a CPFL Energia, do setor elétrico brasileiro, que desenvolveu o programa "Energia do Bem", objetivando promover a eficiência energética e o uso consciente da eletricidade. Através de campanhas de conscientização, a empresa informa seus clientes sobre medidas simples que podem ser adotadas para economizar energia em casa e no

trabalho. Além disso, investe em projetos de eficiência energética em suas próprias operações, utilizando tecnologias que otimizam o consumo de energia e redução de perdas (CPFL Energia, c2023).

Trabalhos anteriores, por exemplo de Moreira (2020), corroboram o fato de que não existe, atualmente, uma norma específica para construir e gerir o Sistema de Gestão de Eficiência Energética (SGEE) de uma siderúrgica, sendo, por esse motivo, todos os trabalhos nesse sentido também orientados pela ISO 50001.

Afirmam Lovati et. al. (2018) que os sistemas de gestão de energia das siderúrgicas possibilitam monitorar e fazer o controle do desempenho energético de suas respectivas plantas, sempre orientado à melhoria contínua dos custos de operação e dos indicadores voltados ao meio ambiente. Kagan, Oliveira e Robba (2021) corroboram sugerindo que as diretrizes de um SGEE devem estar alinhadas com os planos estratégicos da usina.

Dentro desse sistema ocorre, periodicamente, a revisão energética que, conforme trabalho realizado por Barcelos e Calili (2019), consiste em detalhar o uso e o consumo de energia na totalidade da planta, auxiliando na definição do indicador de desempenho energético global. Essa etapa possibilita avaliar de forma detalhada o potencial energético, financeiro e de emissões de GEE para cada processo, assim como o potencial total de toda a usina, classificado por tipo de fonte energética. Os dados gerados na revisão energética dão um norte ao plano de trabalho das ações de eficiência energética.

Levent et al (2019) destaca a importância da modelagem matemática no contexto de sistemas de gestão de energia. A crescente demanda por recursos energéticos e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa têm impulsionado pesquisas nesse campo. A modelagem matemática desempenha um papel fundamental ao fornecer uma base teórica sólida para a compreensão e otimização dos sistemas energéticos. Ela permite a representação das relações entre variáveis relevantes, como consumo, demanda, geração e eficiência, possibilitando a identificação de estratégias para aprimorar a gestão de energia e alcançar metas de eficiência energética. Além disso, a modelagem matemática permite a avaliação de diferentes cenários e a previsão de resultados, facilitando a tomada de decisões informadas e o desenvolvimento de políticas energéticas sustentáveis. Portanto, esse campo de aplicação desempenha um papel importante na abordagem dos desafios enfrentados pelos sistemas de gestão de energia e na promoção do tema.

O plano de diagnoses é orientado nos dados fornecidos pela revisão energética e objetiva, de acordo com Hansen (2023), definir a Linha de Base Energética (LBE) para captura energética, identificando as frentes de trabalho prioritárias através de uma matriz de impacto versus esforço, as quais serão planejadas de acordo com os recursos e modos de operação disponíveis para cada processo.

A metodologia aplicada na diagnose tem por objetivo, segundo Eloi *et. al.* (2019), determinar o nível de eficiência dos equipamentos, além de relacionar oportunidades de melhorias, que auxiliam no desenvolvimento de soluções elementares ou até projetos completos de engenharia, os quais viabilizarão a redução do consumo de energia e das emissões dos GEE nos processos produtivos. A diagnose não objetiva somente solucionar problemas específicos nos equipamentos, mas também contempla as definições de padrões e rotinas que busquem manter os resultados e a segurança operacional. Por tais razões, Bernades, Celeste e Chaves (2020) concluem que esse trabalho deve ser executado totalmente de forma matricial e em conjunto com os especialistas de cada área. A síntese das etapas de uma diagnose inclui, nessa sequência: preparativos, medição, análise de resultados e diagnóstico relatório.

Ao final de cada diagnose é elaborado um relatório que documenta todas as informações referentes ao consumo de energia, bem como as ações que precisam ser feitas para que a eficiência seja alcançada, definindo a partir de então o plano de trabalho.

O plano de trabalho possui as atribuições de cada envolvido objetivando atingir o desempenho que o relatório de diagnose aponta. Artigo de Costa (2021) confirma essa definição e avalia que a administração desse plano deve ser realizada por um Comitê de Eficiência Energética. Esse comitê, dentre outras atribuições, objetiva monitorar, medir e realizar o controle das medições intrínsecas à diagnose em andamento. Existem várias ferramentas disponíveis para esse desdobramento de potenciais indicados pela diagnose, como por exemplo a 5W+1H, acrônimo em inglês que representa as principais perguntas que devem ser feitas e respondidas ao investigar e relatar um fato ou situação.

Em paralelo, existe um plano de projetos e estudos especiais, que possui um objetivo mais voltado para investimentos em novas tecnologias ou modificações de alto custo no processo, as quais envolvem aprovação da empresa por graus maiores da hierarquia. Esse formato, com poucas modificações devido às particularidades de cada empresa, também é compartilhado no trabalho de Lima Junior (2021). Frisa-se que todas as etapas que ocorrem antes e depois da execução desses projetos são acompanhadas por um Comitê de Eficiência Energética, formado por *stakeholders* nesse assunto.

Através de um projeto-piloto ou de uma planta industrial teste, é possível avaliar e classificar a viabilidade técnica e econômica dos projetos apontados pelo sistema de gestão de energia, bem como seus benefícios potenciais, como a redução das emissões de gases de efeito estufa e a melhoria da competitividade. Segundo Souza, Rossato e Henkes (2019), a aplicação de um sistema de gestão de energia em uma planta industrial teste pode resultar em reduções significativas no consumo de energia e na melhoria geral da eficiência energética.

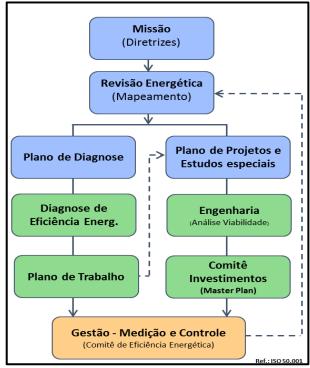
Por fim, a medição e o controle são aqueles que efetivamente mensuram a eficiência energética da planta, através de um indicador chave de desempenho que promove uma visão detalhada do comportamento de cada processo sob a visão da eficiência energética. Almeida (2020) informa existir diversas formas de se evidenciar esse indicador-chave de processo (KPI).

## 3 METODOLOGIA

Será abordado um estudo de caso em que um grupo de colaboradores de uma indústria siderúrgica de grande porte, que possui usinas instaladas nos estados de São Paulo e Minas Gerais, foi orientado a implantar um SGEE abrangendo todo o negócio.

As etapas necessárias para atingir o monitoramento e o desempenho energético das plantas estão apresentadas no fluxograma exibido na figura 5; fluxograma que foi adaptado a partir das sugestões orientativas da ISO 50.001 e de outras empresas do ramo industrial que possuem programas similares.

Figura 5. SGEE



Fonte: Autor.

Nela se percebe que todo o SGEE é orientado por uma missão, cujos objetivos são:

- a) Aumentar a geração de gases oriundos do processo siderúrgico e aproveitá-los com maior eficiência;
- b) Reduzir o consumo de energia através de uma melhor eficiência;
- c) Elevar ao máximo a geração interna de energia elétrica e o uso de fontes de energias alternativas, e;
- d) Conscientizar os colaboradores sobre o uso racional dos diferentes tipos de energia e a importância de conservar o meio ambiente.

Por sua vez, as macros etapas do processo de revisão energética são exibidas na figura

6.

Figura 6. Etapas da Revisão Energética



Fonte: Autor.

A figura 7, apresenta um exemplo de síntese das informações que a revisão energética pode gerar. Ela enumera para cada processo e fonte energética o potencial de redução em montante físico e monetário. Os valores exibidos nessa figura foram anonimizados para proteção de dados sensíveis, não representando potenciais reais.

Figura 7. Exemplo de síntese de dados gerados pela Revisão Energética

Processo	Fontes Energéticas - Potencial										
	Energia Térmica			Energia Elétrica			fonte N			Total	Total
	unid.	Gap	R\$mil	unid.	Gap	R\$mil	unid.	Gap	R\$mil	R\$mil	↓tCO₂
Α	Mcal/t	20	4.200	MWh/t	5	1.080	Nm³/t	40	600	5.880	5.931
В	Mcal/t	15	3.000	KWh/t	3	120	Nm³/t	55	480	3.600	3.368
С	Mcal/h	10	1.920	MWh/h	12	1.440	Nm³/h	33	960	4.320	1.040
n	Mcal/unid.	X	x	KWh/unid.	x	X	Nm³/unid	x	X	x	x
Total			9.120			2.640			2.040	13.800	10.339

Fonte: Autor.

A figura 8 exibe um modelo exemplo a ser seguido para gerir o plano de diagnose. Ele insere, em cada coluna o potencial do plano para cada um dos energéticos presentes na planta, comparando então o percentual dos custos de energia que podem ser obtidos em cada frente. Os valores exibidos nessa figura foram anonimizados para proteção de dados sensíveis, não representando potenciais reais.

Potencial do Plano de Diagnose Plurianual - Planta XXX Unid. KPI: % custos energia 3 ↓ R\$xx milhões/ W//**2**///// J. xx Gcal 0.3 2/// XX Diagnoses 100 85.2 Ano Base Energia -Energia Nitrogênio Argônio Hidrogênio Projeção Plano Combustíveis Plurianual Diagnose

Figura 8. Modelo exemplo de gestão do Plano de Diagnoses

Fonte: Autor.

Algumas especialidades envolvidas na realização da diagnose são exibidas na Figura 9, como: a otimização das curvas de operação de blowers e bombas, os projetos de misturadores de ar e queimadores de ar/gás, a avaliação de recuperadores de calor e a análise de todo o sistema de medição e controle da planta em questão.

A Figura 9 traz ainda a relação de instrumentos e equipamentos que normalmente fazem parte de uma diagnose na siderurgia, a saber: equipamentos de análise de rendimento, softwares de captura, armazenamento e análise de dados de processo, kits de amostragem de efluentes da combustão, cromatógrafos de análise de gases industriais, termografia de sistemas térmicos e elétricos, e a análise da qualidade e confiabilidade dos sistemas de monitoramento e medição.

As imagens exibidas no interior da Figura 9 foram anonimizadas para proteção de dados sensíveis, não representando as atividades reais citadas.

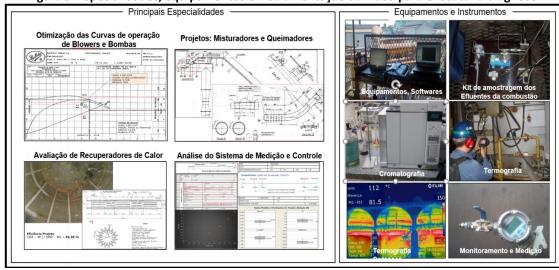


Figura 9. Especialidades, equipamentos e instrumentação utilizada para executar a diagnose

Fonte: Autor.

A figura 10 exemplifica os principais potenciais de redução de consumo de energia para etapa de um forno de reaquecimentos de placas de aço. Esse equipamento tem no seu custo de transformação uma quantia significativa atrelada ao consumo de energias, destacando-se a energia térmica utilizada na combustão dos gases alimentadores. Ao se observar uma elevação no consumo específico de energia nesse forno, pode-se realizar como contramedida um trabalho de diagnose que identificará os motivos e, consequentemente, as oportunidades de melhorias. Os valores exibidos nessa figura foram anonimizados para proteção de dados sensíveis, não representando potenciais reais.

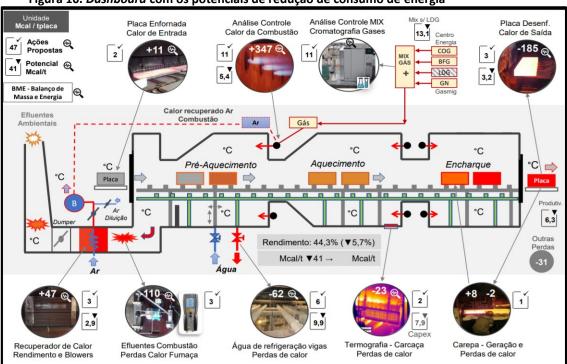


Figura 10. Dashboard com os potenciais de redução de consumo de energia

Fonte: Autor.

Alguns dos potenciais de redução de consumo de energia exigem ferramentas de controle de processo, que desempenham um papel importante na manutenção do valor de eficiência energética. Elas permitem monitorar e otimizar o consumo, identificar ineficiências e implementar medidas corretivas para reduzir o desperdício. Os principais benefícios incluem: monitoramento em tempo real, otimização de processos, detecção de falhas na manutenção preventiva, análise de dados e tomada de decisões embasadas e integração com os demais sistemas de gestão de energia

Não menos importante, um Plano de Projetos e Estudos Especiais recebe as demandas apontadas pelo Setor de Eficiência Energética no sentido de desenvolver projetos e novas tecnologias, inclusive, para solucionar os desvios de energia da planta. Tais projetos são direcionados à equipe responsável por analisar a viabilidade e eventuais investimentos, que uma vez aprovados pelo Comitê de Investimentos da siderúrgica, serão priorizados de acordo com os critérios internos e estratégicos definidos pelos seus gestores.

A figura 11 exemplifica um caso de projeto de uma caldeira de recuperação de calor a ser instalada na saída de fumaça de um forno de reaquecimento de placas de laminação de tiras a quente. Os valores exibidos nessa figura foram anonimizados para proteção de dados sensíveis, não representando potenciais ou medições reais.

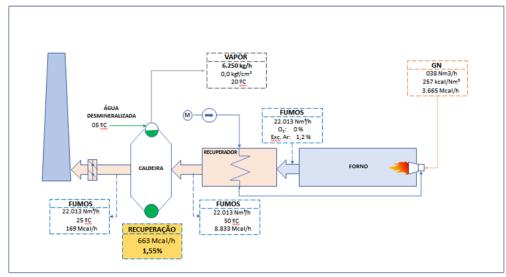


Figura 11. Exemplo de aplicação de Caldeira de Recuperação de Calor

Fonte: Autor.

A sequência do fluxograma se relaciona diretamente com a gestão da medição e seus controles, nesse estudo de caso representado por um indicador denominado Consumo Energético Global. Esse KPI é calculado a partir das informações de consumos e produções da planta, objetivando relacionar o gasto energético ao desempenho dos processos produtivos.

Na busca pela manutenção da assertividade do valor estipulado como referência para esse indicador nos mais diversos processos, deve haver confiabilidade e completude nos dados que compõem o mapeamento dos elementos primários da planta, já que isso consequentemente garantirá a qualidade das informações geradas. É igualmente importante levantar os orçamentos e planejamentos mensais dos consumos de energia que são consumidos pelos diferentes processos produtivos.

Nesse estudo de caso é sugerida ainda a criação de uma ferramenta visual de apresentação chamada Mapa Energético, exibido na figura 12, a qual objetiva ser um dashboard intuitivo, norteador e informativo e que permite realizar as análises de gestão de

energia dos principais processos. Os valores exibidos nessa figura foram anonimizados para proteção de dados sensíveis, não representando dados reais.

Figura 12. Mapa Energético Global de uma usina siderúrgica

#### Consumo Energético Global Cenário Energético Resultado: Em função de uma boa eficiência energética nos processos, a Usina apresentou um desemper Fevereiro de 1998 [Mcal/t<sub>pl.enf.</sub>] energético abaixo do Orçamento e do Padrão em fevereiro de 98 Real RxO Orc. Oportunidades: A partir de 2047 o Mapa passa a: (1) mostrar o gráfico com o Custo de Energia Complementar, que 1980 **98,45**% 2.163 nessa usina corresponde a todos os energéticos, (2) as tabelas de Custo, Energia e Tarifa passam a contemplar também o Ar de Processo e (3) apesar do Consumo Energético Global refletir o Orçamento, toda a análise energética da planta ocorre a partir dos Padrões e Desafios definidos pela Engenharia. Energia Unid. Mapa Energético - Usina de Cubatão Real dam³/dia 2.058 1980 93,98% Energia Elétrica MWmed 36,1 32,5 30,9 **(**) 0 Oxigênio $Nm^3/h$ 503 371 363 142 MWE TYU7 Nitrogênio Hidrogênio $m^3/h$ 163 122 122 ZZA EDS3 RED3 $Nm^3/h$ 7.713 Ar de processo 7.713 5.665 BVC ALF4 STTS Desafio alcançado Específico - R\$/tab Q **(**) 207,87 200.64 203,92 Ø Desvio de até 5% ▼ 13,8 422 Térmica Mcal/t 250 151 -278 ▼ 8,50 Redução de Minério Elétrica kWh/t 225 147 -252 ▼ 5.77 Conjunto de Cilindros kWh/m³ 0.360 0.390 144 ▲ 5,98 **▲** 4,12

Fonte: Autor.

Com esse SGEE, é possível obter bons resultados e *insights* sob a ótica da eficiência energética da planta, os quais são discutidos a seguir.

### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A existência de um Sistema de Eficiência Energética voltado à siderurgia, referendado pela alta hierarquia da empresa, foi importante para a implantação da cultura de gestão e controle dos consumos de energia que por ela são adquiridos e produzidos.

Por existir uma missão com diretrizes alinhadas ao cenário atual da empresa e adequadas aos desafios que seu desenvolvimento sustentável exige, foi criado um ambiente continuamente motivador aos colaboradores para que utilizem com bom senso o uso da energia disponível.

A elaboração da revisão energética periódica trouxe à tona novas discussões, prioridades e óticas diferenciadas no que diz respeito ao fluxo dos diferentes tipos de energia dentro da empresa, desde o ponto de entrega até o seu uso no produto fabricado. Nesse estudo de caso foi definido que a Revisão Energética ocorrerá anualmente.

O plano de diagnoses foi uma ferramenta que, além de organizar por ordem de prioridade os principais retornos financeiros oriundos das ações sugeridas — direcionando a limitada mão-de-obra disponível — destacou a importância de o organograma da empresa possuir uma equipe dedicada exclusivamente para o tratamento dos temas relacionados à

eficiência energética. Sem essa equipe poderia não ficar clara a definição de quem capitanearia os assuntos de eficiência energética.

A diagnose em si foi um trabalho que, ao ser executado, ampliou o conhecimento que a empresa possui dos seus processos, dentre eles os consumos, as curvas de desempenho, os rendimentos reais, a predição dos estados de vida útil, as oportunidades de redução de custos, as necessidades de investimento e até a proposição de inovações disruptivas.

Com um plano de trabalho bem gerido, foi possível manter toda a empresa informada e de forma transparente sobre as atividades que o corpo de Eficiência Energética está dedicado a cada momento, bem como foi possível pontuar os resultados obtidos. Também permitiu que a sistemática de atuação seja continuamente melhorada sob a ótica de suas atividades.

Já o Plano de Projetos e Estudos Especiais capilarizou a visão de eficiência energética dentro dos demais organismos de condução de projetos de engenharia que a empresa possui, possibilitando ampla participação das iniciativas nesse assunto em todas as frentes possíveis.

Foi igualmente importante o envolvimento dos colaboradores que promovem a eficiência energética dentro da empresa com as análises de viabilidade de projetos de engenharia desenvolvidos pelos outros setores da corporação, garantindo que nenhuma iniciativa seja aprovada ou executada sem ser previamente avaliada. Isso é necessário já que a eficiência energética é parte fundamental da sustentabilidade financeira e ambiental da empresa, além de contribuir para atingir suas metas ESG. Esse acompanhamento continuou também no comitê de investimentos, última instância que define quais os projetos que serão discutidos e efetivamente aprovados pelo conselho de acionistas.

Por fim, a apresentação de um mapa energético às médias e altas lideranças manteve coeso o interesse em melhorar continuamente a gestão da eficiência energética de todos os processos da empresa. Está sendo uma das principais ferramentas de medição, controle e gestão dos consumos de energia que a empresa utiliza, aliado ao fato de que mensalmente novas oportunidades, sugestões e críticas são abordadas e estudadas a partir dos números apresentados pelo mapa. Cabe ainda reforçar que o Mapa Energético na forma que é apresentado, relacionando o custo, a eficiência energética, as tarifas e as metas objetivadas de consumo para todos os processos de forma isolada, é uma inovação que até o momento não foi encontrada em estudos anteriores após pesquisas realizadas pelo autor e contato desse com outras empresas do ramo industrial.

#### 5 CONCLUSÃO

Esse artigo abordou um estudo de caso em que um grupo de colaboradores de uma indústria siderúrgica de grande porte foi orientado a implantar um SGEE abrangendo todo o negócio. Com esse sistema em operação, houve ganho qualitativo trazido pela melhor gestão dos indicadores de consumo de energia e, consequentemente, das ações que devem prioritariamente ter um maior esforço dedicado, sendo abordadas as diagnoses, as melhorias, os projetos e os investimentos.

O principal ponto forte identificado a partir dos entregáveis obtidos pelo programa interno de eficiência energética é que a empresa agora comprova numericamente os principais avanços na redução nas emissões de dióxido de carbono, contribuindo para a sustentabilidade do planeta. Esses dados são divulgados publicamente através do relatório de sustentabilidade da companhia.

É visível que todo trabalho de melhora no desempenho energético dos sistemas e processos produtivos passa inicialmente por gerir suas medições de forma inteligente, com o menor esforço e maior impacto possível, possibilitando mensurar a partir do impacto no KPI Consumo Energético Global. Percebe-se ainda que, uma vez bem geridos, também passou a existir uma rotina obrigatória de melhoria contínua no sentido de afinar, distribuir e estudar esses processos de forma a obter o maior grau de confiabilidade possível.

O ponto fraco identificado no desenvolvimento desse trabalho é justamente a dificuldade em manter a confiabilidade metrológica desses dados em um patamar de segurança que permita utilizá-los, sem que seja necessário o cruzamento com outras fontes para validá-los. Nesse sentido a variação analítica deve ser sempre uma prioridade na gestão dos processos industriais.

Houve dificuldade também no aumento do aporte financeiro tanto para cobrir os custos de execução das atividades quanto para o desenvolvimento de projetos que consolidam a transição energética. Uma possível solução é que esses projetos sejam custeados total ou parcialmente por parte dos retornos financeiros obtidos com a execução de iniciativas de eficiência energética anteriores. Aproveita-se para reforçar o amplo número de oportunidades existentes em uma siderúrgica. Sugere-se também o desenvolvimento de parcerias com faculdades de tecnologia e centros de pesquisa regionais para reduzir significativamente o custo de adequação de suas plantas para um novo cenário pós-transição.

Na discussão sobre a necessidade de existir um organograma próprio para eficiência energética, denota-se a importância desse corpo técnico possuir um gestor e hierarquias próprias. Isso pode ser implantado através de uma gerência ou diretoria voltada exclusivamente para o tema. Será mais difícil atingir o objetivo de consumo de energia caso sejam montadas equipes mistas que tenham outras frentes de responsabilidade, ou com profissionais aquém da capacitação técnica ideal, ou até mesmo cujos tópicos de eficiência energética não sejam sempre o elemento central das discussões.

O que se conclui, fundamentalmente, é que existe uma janela de oportunidades para que todas as empresas atuem de forma incisiva na implantação e promoção dos sistemas de gestão de eficiência energética, pois como abordado nesse estudo de caso, os esforços aplicados serão proporcionalmente transformados no melhor desempenho tecnológico da planta possível de ser obtido.

## **REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, Lucas Neves de; OLIVEIRA CHAVES, Luiz Antônio de; THURLER, Hugo Monstans. Análise operacional da eficiência energética de uma usina termelétrica a gás natural. In. PROCEEDINGS OF THE RIO OIL & GAS EXPO AND CONFERENCE, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Chaves-8/publication/344477651\_Analise\_operacional\_da\_eficiencia\_energetica\_de\_uma\_usina\_te rmeletrica\_a\_gas\_natural\_Operational\_analysis\_of\_the\_energy\_efficiency\_of\_a\_natural\_ga s\_thermoelectric\_plant\_2\_Hugo\_Monstans\_Thurler\_dos\_San/links/5f7b407c92851c14bcaf0 a42/Analise-operacional-da-eficiencia-energetica-de-uma-usina-termeletrica-a-gas-natural-Operational-analysis-of-the-energy-efficiency-of-a-natural-gas-thermoelectric-plant-2-Hugo-Monstans-Thurler-dos-San.pdf. Acesso em: 4 out. 2023.

AMBEV. **Sustentabilidade**. 2022. Disponível em:

https://www.ambev.com.br/sustentabilidade/. Acesso em: 22 jun. 2023.

B3. Carteiras de índices ESG. 2022. Disponível em

https://www.b3.com.br/pt\_br/noticias/carteiras-de-indices-esg.htm. Acesso em: 22 jun. 2023.

BARCELOS, Igor Guimarães; CALILI, Rodrigo Flora. **Implementação de um Sistema de Gestão Energética: o caso de uma Fábrica de Alimentos.** Trabalho de Conclusão de Curso. 2019. Disponível em: http://iepuc.puc-rio.br/dados/files/2019/IGOR\_GUIMARAES\_BARCELOS.pdf. Acesso em: 4 out. 2023.

BERNADES, D. et al. Eficiência energética na iluminação pública urbana: revisão bibliográfica dos equipamentos e tecnologias. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-21, 2020. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/342139204\_Eficiencia\_energetica\_na\_iluminaca o\_publica\_urbana\_revisao\_bibliografica\_dos\_equipamentos\_e\_tecnologias. Acesso em: 22 jun. 2023.

COSTA, Juliana dos Santos; ANDRADE JUNIOR, Luiz Mauricio Lopes de. Eficiência energética aplicada ao consumo de eletricidade: Um estudo de revisão bibliográfica. **Research, Society and Development,** v. 10, n. 4, p. e26210414085-e26210414085, 2021. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14085. Acesso em: 6 out. 2023.

CPFL ENERGIA. **Sustentabilidade:** cuidamos do futuro a partir do presente. Disponível em: https://www.grupocpfl.com.br/sustentabilidade-apresentacao. Acesso em: 22 jun. 2023.

ELOI, Sarah Souza *et al*. Eficiência energética e realização de pré-diagnóstico energético em instituições de ensino de João Monlevade–MG. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 2, p. e4182762-e4182762, 2019. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/762. Acesso em: 6 out. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Atlas da eficiência energética Brasil 2021 – Relatório de Indicadores**. 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-651/Atlas2021\_PT\_2022\_02\_04.pdf. Acesso em: 22 jun. 2023.

HANSEN, Larissa Ananda. **Tangibilidade do diagnóstico energético para unidades consumidoras de pequeno e médio porte:** uma ferramenta de sensibilização e quantificação. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso — (Bacharelado em Engenharia de Gestão de Energia) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tramandaí, 2023. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/264240. Acesso em: 6 out. 2023.

IEA. Global energy efficiency progress is recovering – but not quickly enough to meet international climate goals: efficiency improvements are returning to pre-pandemic levels, however they remain well below the pace needed in a net zero pathway. 2021. Disponível em: https://www.iea.org/news/global-energy-efficiency-progress-is-recovering-but-not-quickly-enough-to-meet-international-climate-goals. Acesso em: 22 jun. 2023.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório 2020 de Sustentabilidade**. 2020. Disponível em: https://www.acobrasil.org.br/relatoriodesustentabilidade/assets/pdf/PDF-2020-Relatorio-Aco-Brasil-COMPLETO.pdf. Acesso em: 22 jun. 2023.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **O crescimento tem aço**. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/a-vida-tem-aco/crescimento. Acesso em: 22 jun. 2023.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 50001:2018** - Energy management systems - requirements with guidance for use. 2018. Disponível em: https://www.iso.org/standard/69426.html. Acesso em: 22 jun. 2023.

KAGAN, Nelson; OLIVEIRA, Carlos César Barioni de; ROBBA, Ernesto João. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. São Paulo: Editora Blucher, 2021.

LEVENT, Y. *et al.* Transformation of microgrid to virtual power plant: a comprehensive review. **IET - Institution of Engineering and Technology.** Special Issue: Emerging Technologies for Virtual Power Plant and Microgrid, v. 13, n. 11, p. 1998-2298, 2019. Disponível em: https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/iet-gtd.2018.5649. Acesso em: 22 jun. 2023.

LIMA JUNIOR, Enaldo Nery et al. **Gestão de projetos: metodologia fundamentada nas práticas do guia PMBOK**. 2021. 58f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). IFG: Jataí, 2021.

LINHARES, Neimar Alcântara; ARAÚJO JÚNIOR, Alain Viana de. **Redução no consumo do oxigênio e gás natural em um forno de reaquecimento de tarugos de uma laminação**, 2019. https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/2324. Acesso em: 6 out. 2023.

LOVATI, K. G. *et al.* ISO 50001: energy management system implementation in Ternium Brasil. In: CONFERENCIA DEL ACERO IAS, 22., 2018. **Anais...** Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331606822\_IMPLEMENTACAO\_DO\_SISTEMA\_DE\_GESTAO\_DE\_ENERGIA\_ISO\_50001\_NA\_TERNIUM\_BRASIL. Acesso em: 22 jun. 2023.

MOREIRA, Francisca Nara Conceição; FERREIRA, Jorge Fernando Hungria; PEREIRA, José Almir Rodrigues. Normas Brasileiras e a recomendação de eficiência energética para a elaboração do projeto de estação elevatória de esgoto sanitário. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e805986143-e805986143, 2020. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6143. Acesso em: 4 out. 2023.

OLIVEIRA, Camilla; AZEVEDO, Marina; HAUSER Phillip. **O aço da vez:** a siderurgia brasileira como alavanca do desenvolvimento sustentável. 2022. Disponível em: https://epbr.com.br/o-aco-da-vez-a-siderurgia-brasileira-como-alavanca-do-desenvolvimento-sustentavel/?ssp=1&setlang=pt-BR&safesearch=moderate. Acesso em: 22 jun. 2023.

PIRES, Douglas Mautone Gonçalves; MAGRI, Luiz Paulo. Eficiência energética na indústria. **Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica**, v. 4, n. 2, 2022. Disponível em: https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/eletrica/article/view/3344. Acesso em: 6 out. 2023.

POQUE GONZÁLEZ, Axel Bastián. Transição energética para a sustentabilidade no Chile e no Brasil: Oportunidades e desafios decorrentes da pandemia por Covid-19. Latin American Journal of Energy Research, v. 8, n. 1, p. 1-21, 2021. Disponível em: https://periodicos.ufes.br/lajer/article/view/34718. Acesso em 4 out. 2023.

ROMAGNOLE. Inteligência Artificial e IoT estão revolucionando o setor elétrico. 2023. Disponível em: https://www.romagnole.com.br/noticias/inteligencia-artificial-e-iot-estao-revolucionado-o-setor-eletrico. Acesso em: 22 jun. 2023.

SIRENE. Governo Federal do Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, c2022. **Sistema de Registro Nacional de Emissões**. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene. Acesso em: 22 jun. 2023.

SOUZA, Nicollas Luiz Schweitzer de; ROSSATO, Ivete de Fátima; HENKES, Jairo Afonso. Uma análise das estratégias de produção mais limpa e eficiência energética em uma indústria de equipamentos odontológicos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 639-659, 2019. Disponível em:

https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao\_ambiental/article/vie w/8074. Acesso em: 6 out. 2023.

TAVARES, Thiago Roniere Rebouças. **Da responsabilidade social corporativa ao ESG.** *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM GEOGRAFIA, 14., 2021. **Anais...** Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/enanpege/2021/TRABALHO\_COMPLETO\_EV154 MD1 SA118 ID220602112021185718.pdf. Acesso em: 4 out. 2023.

WEG. **Gestão de energia**. 2023. Disponível em:

https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Digital-Solutions/Gest%C3%A3o-de-Energia/c/BR\_WDC\_DIGITAL\_ENERGY\_MANAGEMENT. Accesso em: 22 jun. 2023.

WSA. World Steel Association. **Energy use in the steel industry**. 2020. Disponível em https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Fact-sheet-Energy-use-in-the-steel-industry.pdf?\_x\_tr\_sl=en&\_x\_tr\_tl=pt&\_x\_tr\_hl=pt-BR&\_x\_tr\_pto=sc. Acesso em: 22 jun. 2023.

# Sobre os(as) Autores(as):

-----

## <sup>1</sup> HUMBERTO DE SOUSA MEGDA



Pós-graduado em Gestão de Energia e Eficiência Energética pela Faculdade SENAI de Tecnologia (2022), licenciado em Matemática pela Faculdade Integrada Arquimedes (2017), Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Santa Cecília (2015), graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações pela Universidade Santa Cecília (2011). Atua como professor de educação superior na Faculdade SENAI. Engenheiro de Projetos da USIMINAS. https://orcid.org/0000-0002-9956-3414

#### " MAURO MARCHESI



Graduado em Engenharia Industrial Elétrica e em Engenharia Operacional Eletrotécnica pela Universidade Santa Cecilia (1983). Especializado em Administração da Produção - Inteligência Industrial pela Universidade Nove de Julho (UNINOVE) e (in company) em Marketing e Comunicação pela Escola Superior de Propaganda e Marketing (ESPM). Atua nos cursos de pós-graduação da Faculdade SENAI. Diretor Técnico comercial na M&S Consultoria e Engenharia Ltda. https://orcid.org/0000-0003-4863-227X

#### III FABRÍCIO RAMOS DA FONSECA



Doutor em Ciências (2011) e Mestre em Engenharia Elétrica (2009) pela USP, graduado em Engenharia Elétrica, modalidade Eletrônica, pela Universidade Santa Cecilia (2001), Especialização em Diagnóstico de Máquinas no Japão pela JICA Kyushu (2005), graduado em Pedagogia pela Universidade Bandeirante de São Paulo (2007). Especialista em Educação Profissional do SENAI. Pesquisador colaborador da UNIFESP e da Universidade de São Paulo. https://orcid.org/0000-0001-8267-3222

#### iv TIAGO AKIRA TASHIRO DE ARAÚJO



Licenciado e Bacharel em Química com atribuições tecnológicas pela Universidade Católica de Santos e Mestre em Ciências pela UNIFESP. Professor junto ao SENAI e à Secretaria de Educação do Estado de São Paulo. Atuação em laboratório químico credenciado pelo INMETRO com ênfase em análise instrumental por espectrometria de emissão óptica com plasma, espectrofotometria UV-visível e cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa. <a href="https://orcid.org/0000-0003-2960-8186">https://orcid.org/0000-0003-2960-8186</a>

## iv RITA DE CÁSSIA SARTORI DE ARAÚJO



Mestranda no ensino da física pela Universidade federal do ABC. Pós-Graduada em Matemática (2011). Pós-Graduada em Ciências da natureza (2014). Graduada em Matemática (2001) e em Ciências (1997) pela Universidade Ibirapuera. Sócia-proprietária da escola de aulas particulares e reforço escolar, Assessoria Estudantil de São Paulo. Experiência na área de Exatas, com ênfase em Matemática e Física. Experiência em orientação e coordenação escola. <a href="https://orcid.org/0000-0003-2960-8186">https://orcid.org/0000-0003-2960-8186</a>