

REDUÇÃO DO CUSTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL USANDO A ABORDAGEM GREEN LEAN SIX SIGMA: UM ESTUDO DE CASO

¹Juliano Endrigo Sordan; julianosordan@yahoo.com.br; Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

²Gabriel Marcari; gabrielcollettimarcari@gmail.com; Centro Universitário Interativo COC (UniSEB)

³Marcelo Cesar de Moura; marcelomoura1979@yahoo.com.br; Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS)

⁴Pedro Carlos Oprime; pedro@dep.ufscar.br; Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

⁵Clesio Aparecido Marinho; clesio.marinho@yahoo.com.br; Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

RESUMO: *A integração de práticas ambientais com a abordagem Lean Six Sigma (Green LSS) emerge como uma estratégia de excelência operacional capaz de ampliar o escopo das ações de melhoria proporcionando resultados financeiros e, ao mesmo tempo, economia no consumo dos recursos naturais. O presente artigo tem como objetivo apresentar a aplicação de um projeto Green LSS estruturado pelo método DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar). O projeto teve como objetivo a redução do custo energético industrial referente ao consumo de gás no processo de cocção em uma fábrica de alimentos. Por meio de um estudo de caso único e longitudinal, o artigo apresenta uma narrativa sobre a sequência das etapas executadas, assim como as ferramentas e técnicas utilizadas em cada uma dessas fases. Esta pesquisa pode contribuir com a execução de futuros projetos Green LSS, cujo propósito seja a melhoria do meio ambiente e dos resultados operacionais por meio do modelo DMAIC.*

PALAVRAS-CHAVE: GREEN LEAN SEIS SIGMA; ECO-SEIS SIGMA; EXCELÊNCIA OPERACIONAL; SUSTENTABILIDADE.

ABSTRACT: *The integration of environmental practices with the Lean Six Sigma approach (Green LSS) emerges as a strategy of operational excellence capable of expanding the scope of improvement actions providing financial results and, at the same time, savings in the consumption of natural resources. This article aims to present the application of a Green LSS project structured by the DMAIC method (Define, Measure, Analyze, Improve and Control). The project aimed to reduce the industrial energy cost related to gas consumption in the cooking process in a food factory. Through a single and longitudinal case study, the article presents a narrative about the sequence of the steps performed as well as the tools and techniques used in each of these phases. This research can contribute to the execution of future Green LSS projects, whose purpose is to improve the environment and operational results through the DMAIC model.*

KEYWORDS: GREEN LEAN SIX SIGMA; ECO-SIX SIGMA; OPERATIONAL EXCELLENCE; SUSTAINABILITY.

1. Introdução

A implementação de iniciativas *Lean Seis Sigma* (LSS) em processos industriais tem se tornado uma prática cada vez mais disseminada nas organizações. Tal estratégia tem como proposta oferecer aos praticantes uma estrutura comum para a implementação de projetos de excelência operacional capazes de gerar resultados em termos de qualidade, custo e velocidade. Contudo, quando a abordagem LSS é integrada com outras ações sustentáveis, principalmente relacionadas às iniciativas do tipo “*eco-friendly strategies*”, os resultados decorrentes desse tipo de integração tendem a reduzir os impactos ambientais de modo consistente (LUCATO *et al.*, 2015).

Enquanto as técnicas *Lean Manufacturing* (LM) fomentam ações voltadas para a eliminação de desperdícios e aceleração de processos, a estratégia *Six Sigma* (SS) se desdobra por meio da implementação de projetos de melhoria direcionados para a redução de defeitos, diminuição da variabilidade dos processos e redução de custos (ANDERSSON *et al.*, 2014). A proposta de integração entre as duas abordagens foi apresentada no livro “*Lean Six Sigma: Combining Six Sigma with Lean Speed*” (GEORGE, 2002), onde o autor apresenta estudos de caso reais e relata diversos benefícios decorrentes da integração entre as duas abordagens.

Os desafios socioambientais presentes na vida contemporânea, incluindo o aquecimento global, o aumento no consumo dos recursos naturais, o crescimento demográfico, juntamente com o aumento nos custos energéticos e a poluição, configuram novos critérios competitivos (CHERRAFI *et al.*, 2016). Além disso, os requisitos inerentes à três dimensões da sustentabilidade (econômica, social e ambiental), também referenciados na literatura pelo termo *triple bottom line*, são compreendidos como parte integrante das estratégias de gerenciamento e melhoria dos processos e operações (McCARTY *et al.*, 2011).

O paradigma da sustentabilidade se apresenta como uma filosofia de gestão direcionada para a redução dos impactos ecológicos negativos proveniente dos produtos e serviços fornecidos por uma organização, assim como uma proposta de melhoria da eficiência ambiental das operações, assegurando ao mesmo tempo, o alcance dos objetivos financeiros (GARZA-REYES, 2015). Enquanto as similaridades entre LSS e *Green* cobrem iniciativas em torno de uma filosofia de melhoria contínua, redução de desperdícios e engajamento dos colaboradores, as principais diferenças entre elas residem no uso de uma linguagem específica (emprego de termos técnicos, como por exemplo, *kaizen*, *kanban* e *muda*) e aplicação de um pacote de ferramentas, tais como eventos *kaizen*, 5S e *Value Stream Mapping* (EPA, 2009).

Embora a integração das práticas *Green* com a abordagem LSS (*Green LSS*) seja reconhecida no meio acadêmico como uma estratégia capaz de guiar iniciativas direcionadas para a melhoria do meio ambiente e dos resultados operacionais, estudos de campo envolvendo aplicações dessa natureza ainda representam uma lacuna na pesquisa (ALBLIWI *et al.*, 2015). Deste modo, observa-se uma carência de estudos práticos envolvendo a implementação de projetos *Green LSS* nas organizações. O presente artigo tem como objetivo descrever a implementação de um projeto *Green LSS* estruturado por meio do método DMAIC para a redução do custo energético industrial em uma fábrica de alimentos.

2. Abordagem Green Lean Six Sigma

A implementação das práticas LM pode ser conduzida por meio do pensamento *lean*, que abrange os seguintes princípios: (i) especificação do valor sob o ponto de vista do cliente, (ii) identificação do fluxo de valor para cada família de produto, (iii) promoção do fluxo contínuo, (iv) produção puxada a partir das necessidades do cliente; e (v) contínua busca pela perfeição (WOMACK; JONES, 1996). A abordagem Seis Sigma, por sua vez, foi concebida na Motorola em 1987 com o intuito de melhorar drasticamente a qualidade de seus produtos. Dois anos após essa iniciativa, a empresa recebeu o prêmio *Malcolm Baldrige National Quality Award* como reconhecimento dos resultados com o programa (PANDE *et al.*, 2001).

Os projetos LSS apresentam quatro características: (i) foco em resultados, com impacto financeiro; (ii) integração do elemento humano com o processo de melhoria e cultura de mudança; (iii) metodologia específica orientada para a melhoria de produtos e processos existentes (DMAIC) ou para o desenvolvimento de novos produtos e processos (DMADV); e (iv) infraestrutura técnica, que envolve um grupo de profissionais capacitados, incluindo *Champions*, *Master Black Belts*, *Black Belts* e *Green Belts* (SNEE, 2004).

Sob a ótica ambiental, o significado do termo “defeitos” pode ser ampliado para a economia na utilização dos recursos, que é uma prática essencial para promover a sustentabilidade dos recursos que se esgotam rapidamente (GARZA-REYES *et al.*, 2014). Neste contexto, a implementação das iniciativas *Green LSS* conduzidas em direção às práticas de prevenção da poluição e sustentabilidade podem incluir as seguintes ações (EPA, 2009):

- *Fast kaizen*: eventos tipicamente implementados durante 2 ou 5 dias, em que equipes buscam a reduzir *lead time*, custos e poluição, assim como a melhoria da qualidade do produto e eficiência ambiental.
- *Cultura de melhoria contínua*: engajamento dos colaboradores em práticas voltadas para identificação e eliminação de desperdícios, bem como na implementação de práticas ambientais:
- *Práticas preventivas*: práticas *Green LSS* podem minimizar os impactos ambientais e permitir a incorporação de aspectos legais e regulatórios nas práticas de excelência operacional.
- *Oportunidades para ideias sustentáveis*: sinergia entre praticantes LSS e especialistas ambientais para a implementação de estratégias de otimização dos recursos naturais.

3. Método de pesquisa

Os procedimentos para a coleta e análise dos dados foram estruturadas por meio de um protocolo de estudo de caso único e longitudinal, visto que este método é recomendado para trabalhos que tenham como características a necessidade de encontrar respostas às questões “como” e “por que”, pouco ou nenhum controle sobre o evento por parte do pesquisador e foco em problemas contemporâneos dentro de um contexto real (YIN, 2009). O estudo foi realizado no segundo semestre de 2019 na “Alpha”, uma empresa fabricante de balas e biscoitos, localizada no interior do estado de São Paulo. Atualmente, a empresa emprega 550 colaboradores e implementa diversos projetos LSS e eventos *kaizen* como parte de sua estratégia de excelência operacional.

Os dados foram coletados por meio de entrevistas envolvendo os colaboradores que participaram do projeto e documentos internos. As entrevistas foram conduzidas de forma semiestruturada de modo que os participantes pudessem expressar livremente a experiência na condução do projeto. Após a coleta dos dados procedeu-se uma análise da abordagem adotada pela empresa na implementação do projeto Green LSS, assim como a investigação a respeito das técnicas e ferramentas utilizadas e dos resultados (financeiros e ambientais) proporcionados pelo projeto. A análise foi norteada pela sequência de atividades previstas no modelo DMAIC e contraposta com as práticas recomendadas na literatura pertinente ao tema.

4. Resultados

4.1 Contextualização do problema

O processo de distribuição do gás é operacionalizado por meio de duas modalidades: (a) Gás Liquefeito de Petróleo - GLP, proveniente do petróleo cru ou gás natural e distribuído na forma de cilindros e botijões; e (b) Gás Natural – GN, constituído por combustível fóssil e distribuído por meio de gasodutos. No final de 2018, uma das plantas da Alpha, localizada na região de Ribeirão Preto, observou uma oportunidade de redução de 20% no custo médio mensal referente ao consumo de gás. Desta forma, a organização optou pela mudança na modalidade de fornecimento de gás de GLP para o GN, com o intuito de reduzir o custo energético industrial. Contudo, após a conversão do GLP para o GN, a empresa observou um aumento no custo com o consumo de GN de aproximadamente de 48% em comparação ao custo energético registrado em 2018.

4.2 Fase Definição

A fase Definição teve início com a formação da Equipe do Projeto (EP) e reunião de sensibilização. O Quadro 1 apresenta uma síntese do *project charter* que foi elaborado pela EP para nortear a condução do projeto *Green LSS*. Além da descrição do problema, esse documento mostra a constituição da EP, os Fatores Críticos (CTQs), o escopo e os benefícios esperados para o projeto, assim como o cronograma das ações nas fases do DMAIC.

QUADRO 1 – Síntese do *Project Charter*

Título do projeto	Redução de custos com recursos energéticos.	
Descrição do problema	No ano de 2018 a operação industrial possuía um custo médio mensal com GLP de aproximadamente 5,46% do custo variável. Em 2019, após a mudança de GLP para GN, foi observado um aumento de 48%, contrariando a expectativa de redução de 20%.	
Equipe do projeto	1 Analista de compras; 1 Coordenador de manutenção; 2 Técnicos em eficiência energética; 1 Eletricista; e 1 Supervisor de segurança.	
CTQ	CTQ01 - Eficiência dos fornos; CTQ02 - Custo energético.	
Escopo do projeto	O projeto tem como escopo a etapa de cocção das linhas de produtos cobertos, recheados e tradicionais.	
Benefícios esperados	Redução do custo energético e melhoria do desempenho ambiental.	
Cronograma	Definição: 2 semanas (início em 14/10/19) Medição e Análise: 14 semanas	Melhoria: 4 semanas Controle: 8 semanas

Fonte: Dados fornecidos pela empresa.

A Figura 1 apresenta um gráfico de barras com a evolução do custo mensal de GN entre janeiro de 2018 a setembro de 2019. Os valores indicam o percentual em relação ao custo total/ano. Com base nesses valores, a EP procedeu uma análise comparativa do histórico de consumo de GN com o orçamento estabelecido para o período. Tal análise resultou na seguinte definição de meta para o projeto: “Reduzir o custo médio mensal de gás em 16% até março de 2020”.

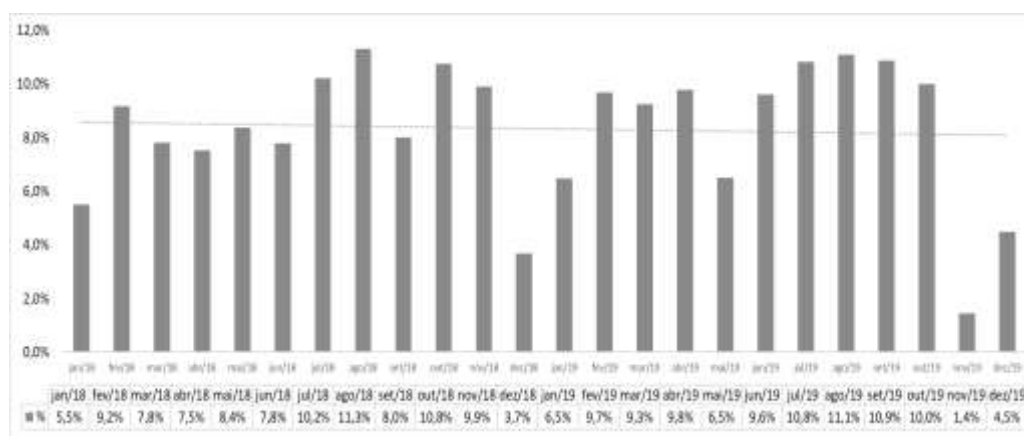


FIGURA 1 – Evolução do custo com GN. Fonte: dados da pesquisa.

4.3 Fase Medição

As atividades executadas na fase Medição são tradicionalmente dedicadas para a seleção das características do produto, mapeamento do processo, estruturação da coleta de dados, análise do sistema de medição e estimativa da capacidade do processo (DE KONING; DE MAST, 2006). A Figura 2 ilustra a sequência de atividades realizadas para identificar as prováveis causas no aumento dos custos energéticos na Alpha. Após o mapeamento das variáveis inerentes à operação dos fornos (Figura 2a) e identificação das causas potenciais (Figura 2b), a EP priorizou sete variáveis (Figura 3c), sendo que a variável X_{10} foi classificada como “ver e agir” e tratada imediatamente por meio da implementação de um padrão operacional, enquanto das demais variáveis foram analisadas na etapa seguinte.

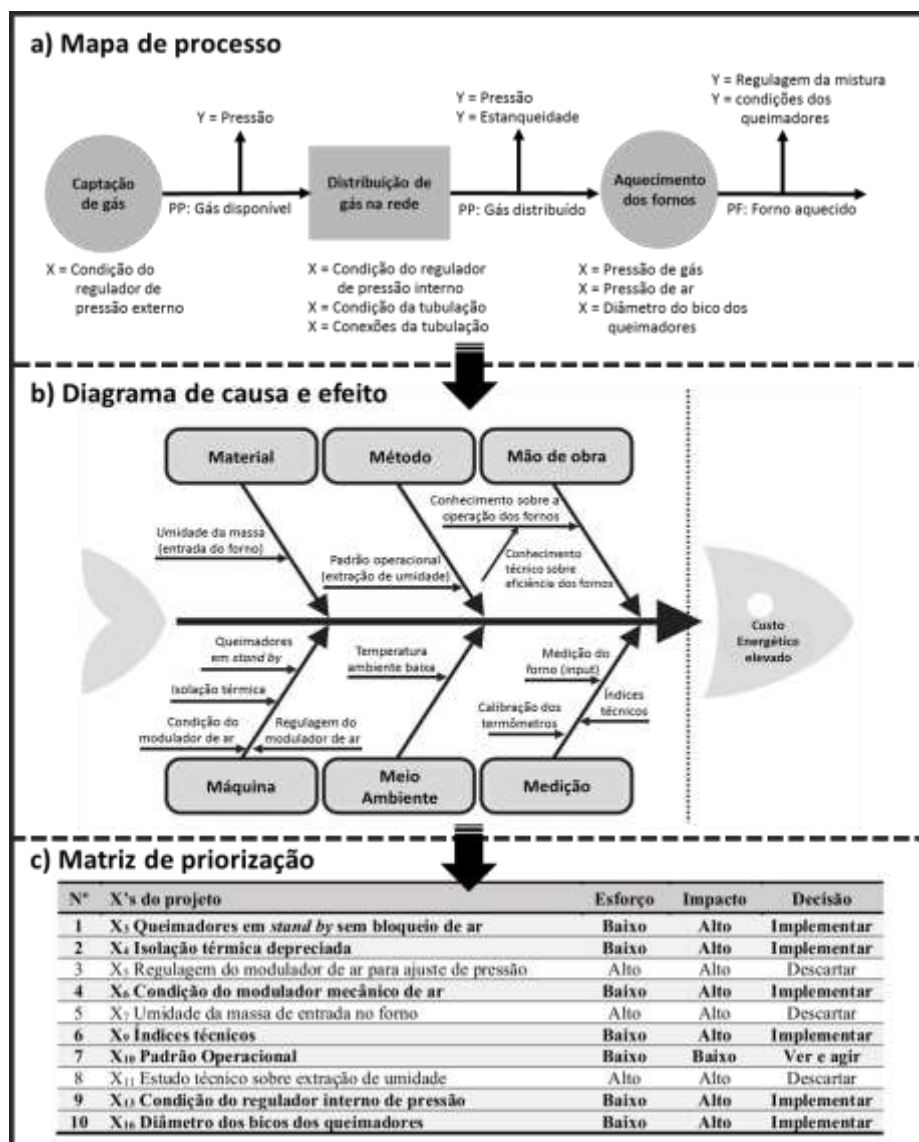


FIGURA 2 – Sequência de ações executadas na fase Medição. Fonte: dados da pesquisa

4.4 Fase Análise

O principal objetivo da fase Análise em um projeto LSS é a confirmação das prováveis causas para o problema e a seleção das causas raízes por meio de técnicas de análise de dados (OLIYA *et al.*, 2012). Deste modo, a EP procedeu uma investigação envolvendo as seguintes variáveis (x's) que afetam o consumo energético (Y's):

- X_3 - Queimadores em *stand by* sem bloqueio de ar: os queimadores dos fornos, quando desativados, não impedem o fluxo de entrada de ar por eles.
- X_4 – Isolação térmica: a isolamento térmica minimiza a dissipação de calor do forno para o ambiente.
- X_6 – Condição do modulador mecânico de ar: componente do forno que, em sua condição básica, ajusta o volume de entrada de ar nos queimadores.
- X_9 – Índices técnicos: são os indicadores que medem e relacionam algumas variáveis como preço, volume de gás e volume de produção.
- X_{10} – Regulador interno de pressão: este componente auxilia no ajuste da pressão do gás dentro dos fornos.
- X_{16} – Diâmetro dos bicos queimadores: o diâmetro dos bicos está relacionado ao volume de gás que incide, por um determinado período.

Considerando o enfoque ambiental dado ao projeto, a EP decidiu desenvolver um estudo FMEA envolvendo essas variáveis. O Apêndice A mostra a planilha FMEA com as ações recomendadas para a redução do custo energético na Alpha e melhoria do desempenho ambiental. Além disso, a EP procedeu um estudo de correlação entre o volume performado (Ton) e o consumo de gás (m^3).

Para realizar esse estudo, a EP coletou uma amostra de 20 pares de dados (consumo *versus* volume) referente aos registros de janeiro de 2018 a outubro de 2019. O coeficiente de determinação (r^2) para esses dados foi de 0,8788. A EP entendeu que esse resultado representa uma correlação forte entre as variáveis, ou seja, o consumo de gás é influenciado pelo volume performado. Contudo, foi observado que o volume de produção aumentou apenas 12% no período de análise, sendo que o aumento no custo foi de 48%. A análise foi então direcionada para a variação do preço do gás por kcal (valor energético de cada combustível) consumida.

4.5 Fase Melhoria

Nesta etapa do trabalho a EP buscou identificar potenciais soluções e estabelecer um plano de ação para a implementação das mudanças necessárias. Tais ações incluíram um estudo de viabilidade para a deliberação sobre a modalidade de distribuição do gás e um estudo de *benchmarking* envolvendo uma organização parceira, cujo processo industrial pudesse fornecer informações a respeito da mudança de modalidade de GN para GLP.

O estudo de viabilidade foi pautado pela análise do ponto de equilíbrio. Para tanto, os dados foram transformados para a mesma base de comparação, adotando como unidade de medida a energia Kcal. Assim, obteve-se o valor financeiro por Kcal de cada combustível e, por consequência, o limite de preço que a modalidade GN/GLP poderia atingir para permanecer viável para a empresa. O estudo de viabilidade indicou o uso do GLP como melhor combustível e a mudança foi implementada. A Figura 3 ilustra o resultado referente aos custos energéticos na Alpha após a conversão para GLP em março de 2020.

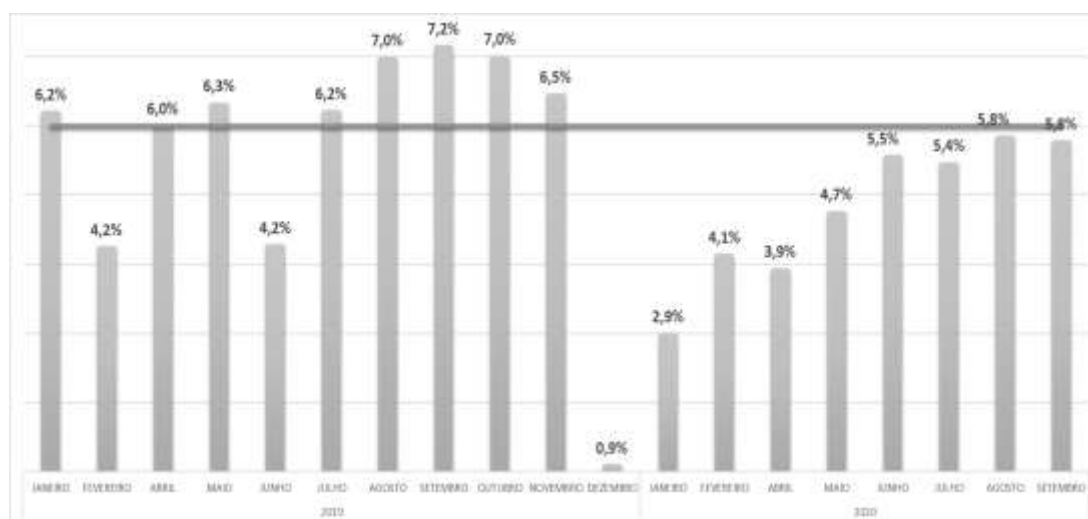


FIGURA 3 – Resultado do custo com gás. Fonte: dados da pesquisa.

A fim de obter uma visão pragmática a respeito dessa mudança, a EP conduziu um estudo de *benchmarking* em uma indústria farmacêutica que havia feito a mudança de combustível de GN para GLP recentemente. A coleta de dados incluiu entrevistas com o diretor industrial dessa organização, que respondeu algumas questões previamente estruturadas em um protocolo de *benchmarking*. Parte da entrevista foi direcionada pelas seguintes perguntas: “O que levou a empresa a optar pela mudança de combustível?”; “O retorno esperado foi atingido?”; “Quais foram os prós e os contras de ambos os combustíveis?”.

4.6 Fase Controle

A fase Controle visa garantir que os ganhos decorrentes das ações de melhoria sejam sustentáveis. As ferramentas e técnicas comumente aplicadas nessa fase incluem cartas de controle, padronização, auditorias e plano de controle. Portanto, sabendo que a Agência Nacional do Petróleo (ANP) disponibiliza em seu *website* um banco de dados com o histórico da variação do preço de distribuição do gás, a EP implementou um padrão de monitoramento das séries temporais sobre o custo energético com o consumo de GLP.

Além de apresentar os resultados financeiros obtidos com o projeto, a EP recomendou um estudo para o aumento da eficiência energética no processo de cocção da Alpha. Esse estudo abrange a possibilidade de pré-aquecimento do ar de combustão para aumentar a eficiência dos fornos. Contudo, essa iniciativa requer a aquisição ou construção de um trocador de calor e possíveis ajustes estruturais no forno. Por outro lado, a ação poderá aumentar a eficiência do processo de combustão, com potencial redução de 5% no custo energético.

5. Considerações finais

A implementação de projetos *Green LSS* emerge como uma estratégia de excelência operacional capaz de ampliar o escopo das ações de melhoria incluindo o aumento da eficiência do consumo dos recursos naturais. Este artigo apresentou a implementação de um projeto *Green LSS* estruturado por meio do método DMAIC, cujo objetivo foi a redução do custo energético industrial referente ao consumo de gás no processo de cocção em uma fábrica de alimentos. O caso apresentado descreveu a sequência das etapas executadas e as ferramentas e técnicas utilizadas em cada fase do projeto. Além de alcançar os objetivos financeiros, as ações executadas permitiram a identificação de uma oportunidade para o aumento da eficiência energética dos fornos por meio do pré-aquecimento do ar de combustão. Embora este estudo não tenha a pretensão de generalizar os resultados, espera-se que a narrativa aqui apresentada possa estimular praticantes da abordagem *Green LSS* na condução de futuros projetos de excelência operacional integrados à questão ambiental.

Referências

ALBLIWI, S.A.; ANTONY, J.; HALIM LIM, S.A. A systematic review of Lean Six Sigma for the manufacturing industry. **Business Process Management Journal**, v. 21, n. 3, p. 665-691, 2015.

ANDERSSON, R.; HILLETOFTH, P.; MANFREDSSON, P.; HILMOLA, O. P. Lean six sigma strategy in telecom manufacturing. **Industrial Management & Data Systems**. v. 114, n. 6, p. 904-921, 2014.

CHERRAFI, A., ELFEZAZI, S., CHIARINI, A., MOKHLIS, A.; BENHIDA, K. The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 828-846, 2016.

CRESWELL, J.W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha, 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DE KONING, H.; DE MAST, J. A rational reconstruction of Six-Sigma's breakthrough cookbook. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 23, n. 7, p. 766-787, 2006.

EPA, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **The Environmental Professional 's Guide to Lean & Six Sigma**. Disponível em:
<<https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-10/documents/enviro-prof-guide-six-sigma.pdf>>. Acesso em: 20 Jul. 2019.

GARZA-REYES, J.A. Lean and green—a systematic review of the state-of-the-art literature. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 18-29, 2015.

GEORGE, M.L. **Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed**. New York: McGraw-Hill, 2002.

LUCATO, W.C.; VIEIRA J.M.; SANTOS, J.C.S. Eco-Six Sigma: integration of environmental variables into the Six Sigma technique. **Production Planning & Control**, v. 26, n. 8, p. 605-616, 2015.

McCARTY, T.; JORDAN, M.; PROBST, D. **Six Sigma for Sustainability – How Organizations Design and Deploy Winning Environmental Programs**. New York: McGraw-Hill, 2011.

OLIYA, E.; SALEH OWLIA, M.; DEHDASHTI SHAHROKH, Z.; OLFAT, L. Improving marketing process using Six Sigma techniques (case of Saman Bank). **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 3, n. 1, p. 59-73, 2012.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma**. Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

SNEE, R.D. Six sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**. v. 1, n.1 p. 4-20, 2004.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **Lean Thinking**. New York: Simon & Schuster, 1996.

YIN, R.K. **Case study research: design and methods**, 4th edition. Applied social research methods series, 5. SAGE Publication, Inc., 2009.

Apêndice A – Planilha FMEA

Identificação da Etapa	Etapa do Processo	Principais Funções / Entradas do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeitos das Falhas Potenciais	S E V	Causas Potenciais	O C O	Controles Atuais	D E T	N P R	Ações Recomendadas	Responsável	S E V	O C O	D E T	N P R
A	Negociação	Fechar proposta	Desvios de informações	Erro na escolha do fornecedor	8	Falta de integridade do contratante	5	Confiança	5	200	Realizar <i>benchmarking</i> em alguma empresa	Analista de compras	10	5	2	100
B	Abastecimento de gás	Abastecer gás	Falha no abastecimento	Falta de combustível nos fornos	10	Falha de comunicação e verificação	8	Estimativa de nível	5	400	Inspecção diária dos níveis	Analista de compras	10	8	2	160
C	Controle do projeto	Garantir a estabilidade do ganho	Custo de GLP maior que GN	Impacto financeiro negativo na empresa	10	Alteração do cenário financeiro de gás	8	Acompanhamento mensal na ANP	3	240	Manter central de GN com tubulações em <i>stand by</i>	Coordenador de manutenção	10	8	2	160
D	Guarnecimento dos fornos	Aquecer fornos	Instabilidade da chama	Subaquecimento	9	Borra de GLP entupir bicos	5	Manutenção corretiva	4	180	Manutenção preventiva e limpeza	Coordenador de manutenção	9	3	3	81
E	Renegociação	Renegociar condições	Perda de oportunidade de melhorar condições atuais	Impacto financeiro negativo na empresa	8	Falha em explorar o mercado	5	Apresentações via e-mail	5	200	Abriu processo de orçamento no final do contrato atual	Analista de compras	8	5	2	80