



APLICAÇÃO DE PRÁTICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM UMA EMPRESA DO SETOR METAL MECÂNICO: UMA AVALIAÇÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL

Henrricco Nieves Pujol Tucci
henrricco@gmail.com
UNINOVE

Victor Hugo Carlquist da Silva
victorcarlquist@gmail.com
UNINOVE

Edgar Tivelli Tamberg
tamberg@uol.com.br
UNINOVE

Wagner Cesar Lucato
wagner.lucato@gmail.com
UNINOVE

Geraldo Cardoso de Oliveira Neto
geraldo.prod@gmail.com
UNINOVE

Resumo: A dificuldade em melhorar os índices de produtividade e competir com os preços impostos pelos produtos estrangeiros tem feito com que as empresas do setor metal mecânico procurem por formas inteligentes de reduzir os seus custos. A produção mais limpa tem sido a aposta das empresas que buscam alinhar os resultados ambientais com os benefícios econômicos, por exemplo, por meio da redução do consumo de energia elétrica. Este trabalho tem por objetivo apresentar uma avaliação econômica e ambiental da implantação de práticas de produção mais limpa por meio da adoção de tecnologia mais limpa. Os resultados do estudo de caso apresentado permitiram obter um retorno sobre o investimento de 18 meses e ganhos econômicos anuais de 443.736,74 reais por meio da instalação de retentores eletromagnéticos. Quanto aos resultados ambientais, a redução no consumo de energia resultou em um total anual de 3.560,66 MWh e, utilizando o método do carbono equivalente, foi evitado mais de 260 toneladas por ano de emissões à atmosfera.

Palavras Chave: Produção mais limpa - metal mecânica - Avaliação Econômica - Avaliação Ambiental - carbono equivalente

1. INTRODUÇÃO

Atualmente há uma crescente preocupação com as mudanças climáticas que vem acontecendo com o planeta, motivando a busca para reduzir a emissão dos gases de efeito estufa (GEE). Esses esforços para a redução dos GEE estão alterando o setor energético global, dando foco em pesquisas para desenvolvimento de ferramentas que permitem uma maior eficiência energética. O Acordo de Paris estabeleceu o objetivo de reduzir o aquecimento global de 2°C para 1,5°C em um acordo celebrado no COP21 em dezembro de 2015 por 196 nações, dentre eles o Brasil (IEA, 2016).

O uso inconsequente de recursos naturais e processos produtivos com grandes volumes de desperdícios vem chamando a atenção de ambientalistas e Organizações Não Governamentais (ONGs), que em conjunto com a sociedade, vem pressionando as empresas por mudanças imediatas e cobrando do governo que melhore a forma como realiza suas ações controladoras (GIANNETTI *et al.*, 2006).

A busca por meios que ajudem as empresas a melhorar a sua eficiência operacional considerando os desperdícios também com uma visão ambiental vai de encontro com o que a *Cleaner Production* consiste ser, em português, Produção Mais Limpa (P+L) (HAMNER, 1996).

A P+L pode ser definida como um conjunto de ações preventivas que permitem a aplicação contínua de um sistema com foco em resultados ambiental e econômico. Dessa forma, é possível obter sucesso na implantação por meio do uso racional da matéria-prima, pela reutilização e reciclagem dos recursos processos, por meio do uso racional dos recursos naturais, por exemplo, da energia elétrica (JABBOUR, 2010).

A indústria de máquinas e equipamentos em todo o país registrou estabilidade na quantidade de empregos gerados no ano de 2017 com uma tendência de leve queda ao longo dos meses, desde 2013, ano em que teve início a quebra de faturamento da indústria de máquinas, o setor reduziu a quantidade de postos de trabalho em mais de 87 mil (JORNAL DO COMÉRCIO, 2019).

O setor metal mecânico, bem como a indústria brasileira, não tem conseguido melhorar os seus índices de produtividade para se equiparar com as empresas estrangeiras com produtos presentes no mercado nacional, dessa forma, as empresas vem investindo tempo e dinheiro em busca de economizar com inteligência (CHIARELLO, 2017).

Em contrapartida, novos investimentos são vistos com desconfiança pelas empresas brasileira, uma vez que o mercado consumidor passa por uma retração, além de um controle algumas vezes fraco da aplicação da legislação pelo governo brasileiro. Portanto, existe uma resistência inicial na aplicação de práticas de ecoeficiência no Brasil.

Foi identificado poucos estudos que avaliam a aplicação de práticas de P+L e apresentem uma análise econômica e ambiental considerando uma exposição quantitativa. Dessa forma, esta é a principal lacuna de pesquisa que este trabalho visa preencher.

Levando em consideração esses aspectos, essa pesquisa tem por objetivo avaliar as vantagens econômicas e ambientais decorrentes da adoção de P+L realizada pela inovação tecnológica de equipamento em uma empresa do setor metal mecânica.

Após esta introdução, o trabalho abordará uma revisão da literatura, a metodologia utilizada para a pesquisa, a descrição do caso e as conclusões deste trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A *United Nations Environment Program* (UNEP) define a P+L como uma aplicação contínua de estratégias ambientais aplicadas nos processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência e reduzir os riscos para o meio ambiente e para a humanidade (UNEP, 1990).

Após décadas de degradação do meio ambiente e do crescimento de pressões dos governos e dos consumidores, surgiram diversas propostas com o foco de mitigar os problemas ambientais e da produção industrial, umas dessas propostas é a P+L (JABBOUR, 2010). Com a adoção de práticas de P+L na fabricação de produtos e prestação de serviços é possível obter uma otimização dos processos e das tecnologias industriais, diminuindo, conseqüentemente, os danos ambientais e beneficiando tanto os aspectos sociais e econômicos (MATOS *et al.*, 2018).

A P+L também pode ser considerada como uma ferramenta de suporte para decisão como um todo, por ter a capacidade de otimizar e criar técnicas de gerenciamento, como a avaliação do ciclo de vida (MATOS *et al.*, 2018). Uma das práticas mais utilizadas na P+L está relacionada com o uso racional de matéria-prima e dos recursos naturais, como por exemplo, a água e a energia (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2015). Adicionalmente, um driver estratégico para obter sucesso na implantação de práticas de P+L pode envolver a adoção de tecnologias limpas e estímulos a inovação (DE GUIMARÃES *et al.*, 2017).

Existem diversos tipos de interferências na rede elétrica que podem impactar no desempenho e na vida útil de equipamentos que a utilizam. Dentre essas interferências, existem os ruídos parasitários, que tem origem das emissões da rede de telefonia fixa e móvel, rádios AM e FM, transmissões de satélites, entre outros; elevação ou queda no nível de tensão gerados pelos horários de pico ou excesso de disponibilidade; transitórios elétricos, que são efeitos produzidos por ações realizadas nas concessionárias de energia quando são necessários reparos na rede elétrica (SOMATEC, 2019).

Além das interferências citadas acima, existem os harmônicos de rede que são produzidas pela própria natureza do uso de equipamentos elétricos, a mudança do uso de lâmpadas incandescentes para lâmpadas de LEDs influenciam positivamente de maneira considerável na qualidade da rede elétrica (BLANCO; PARRA, 2011).

O Setor Energético no Brasil com foco na geração da energia elétrica, é gerenciado e interligado por um projeto chamado Sistema Interligado Nacional (SIN), que unifica a transmissão de energia hidro-termo-eólico em um único sistema (ONS, 2019).

Um dos desafios para otimizar a eficiência energética do SIN é estimar a demanda elétrica em cada região do Brasil por depender de diversos fatores, como a evolução dos equipamentos eletroeletrônicos. Um exemplo é a redução da demanda de energia elétrica ocasionada pela troca das lâmpadas incandescentes por fluorescentes entre os períodos de 1999 a 2002 (COSTA *et al.*, 2018).

Estima-se que até 2026 o consumo de energia elétrica do setor industrial irá aumentar 3,4% ao ano (BRASIL, 2017), portanto, pode-se ter aumento no impacto ambiental se a eficiência energética não acompanhar a demanda.

O Brasil possui a sua geração de energia elétrica preponderantemente das grandes hidroelétricas, entretanto, a viabilidade deste modelo de geração somente é possível mediante a alterações de uma vasta área de natureza próximo das quedas d'água, trazendo impactos



ambientais devido a desconfiguração do habitat de diversos animais e a retirada de uma elevada quantidade de árvores (BERMANN, 2002).

Uma análise em 433 empresas que relataram aplicar práticas de gerenciamento voltadas à redução de carbono, não encontrou nenhuma evidência estatisticamente significativa com a redução de fato nas emissões absolutas de carbono (DODA *et al.*, 2015). Há poucas evidências de pesquisas que apresentam dados numéricos e relatam práticas adotadas pelas empresas que resultem em impactos ambientais evitados (IEA, 2016).

O futuro da indústria no Brasil rende uma grande preocupação devido a sua representatividade na economia e sociedade, em especial o setor metal mecânico. Um cenário com incertezas diversas ajuda o país a não melhorar o suficiente os seus índices de produtividade quando comparado com outros países, portanto, é de suma importância buscar formas inteligentes de economizar e melhorar o posicionamento no mercado nacional, inclusive em relação aos concorrentes internacionais (CHIARELLO, 2017).

Dentre os dispositivos existentes no mercado, a instalação de um retentor eletromagnético (RE) é uma estratégia disponível por oferecer proteção à máquinas e equipamentos e resultar no aumento da eficiência energética, visto que estes dispositivos eliminam os distúrbios existentes entre a geração e o consumo da energia elétrica (SOMATEC, 2019).

3. METODOLOGIA

O trabalho seguiu os métodos da pesquisa exploratória por meio da revisão bibliográfica que, de acordo com Marconi e Lakatos (2010) é importante pois auxilia o pesquisador a entender e conhecer os acontecimentos pelo qual ele tem pouco, ou até mesmo, nenhum controle. Também foi utilizada a pesquisa quantitativa para coletar uma série temporal de dados com o objetivo de mensurar os impactos e a viabilidade do projeto tanto na empresa, no meio ambiente e na sociedade (YIN, 2015).

Foi escolhido o método de estudo de caso por ser uma maneira de compreender, constatar e confirmar os conceitos utilizados no estudo exploratório do caso em estudo. O método de estudo de caso é comumente utilizado em pesquisas que requerem a apresentação de processos dinâmicos (GIL, 2009).

Os estudos que consideram o estudo de caso como método são balizados usualmente por três passos, são eles: levantamento bibliográfico; entrevistas com especialistas com experiência prática comprovada sobre o assunto e análises de outros casos que adicionem entendimento para a pesquisa (YIN, 2015).

Para o levantamento dos dados foi realizado uma pesquisa semiestrutura que permite identificar as várias manifestações de um determinado problema e transcrevê-lo de diversas maneiras e pontos de vista. Por meio de um especialista da empresa forneceu informações técnicas relevantes como custos e especificações dos equipamentos de oito meses que permitiram realizar as avaliações presentes no estudo de caso (YIN, 2015).

Os cálculos que permitiram as avaliações econômicas foram obtidos devido a implantação de práticas de P+L relacionadas a adoção de uma nova tecnologia, os RE. Foi adotado o método de retorno sobre o investimento (ROI) para compor esta avaliação. Quanto a

avaliação ambiental, foram utilizados o cálculo de carbono equivalente para a produção de energia elétrica.

A estratégia adotada para a redução gradativa das emissões de GEE foi o cálculo de carbonos equivalentes, ao seja, utiliza-se um denominador comum para referenciar os efeitos causados por todos os outros gases, por exemplo, o metano tem um peso vinte vezes maior do que o equivalente em carbono (RIBEIRO, 2005). Foram considerados para os cálculos da avaliação ambiental os dados da tabela abaixo.

Tabela 1: Relação entre emissão de carbono por fonte de energia

Fonte	Descrição	Emissões (kg.CO ₂ eq./kWh)
Hidroelétricas	Produção de energia elétrica em regiões tropicais	0,07378

Fonte: adaptado de Barros *et al.* (2018)

4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado em uma empresa do setor metal mecânico, fabricante de equipamentos de grande porte sob encomenda. Seu pátio fabril é composto por uma série de máquinas operatrizes com elevado volume de produção de componentes, com destaque para as suas complexas operações de usinagem e soldagem. Todos estes ativos de equipamentos operam em três turnos contínuos e durante seis dias na semana.

A operação da empresa requer uma grande quantidade de energia elétrica para funcionar plenamente, seja devido a elevada quantidade de máquinas instaladas e em funcionamento contínuo, seja devido ao aumento na comercialização de produtos personalizados que necessitam de mais horas para serem processados.

A empresa contrata energia elétrica da distribuidora local, entretanto, tem sido cada vez mais comum a necessidade de adquirir energia complementar no mercado para o funcionamento pleno do pátio fabril completo. Logicamente o custo desta energia adicional é mais elevado do que o contrato firmado com a distribuidora de energia, incentivando a empresa a buscar por soluções.

A implantação de práticas de P+L na empresa permitiu a redução no consumo de energia por diversas formas, como também permitiu o conhecimento sobre adoção de novas tecnologias que alinham benefícios econômicos com ambientais. Dessa forma, foi identificado que a instalação de um RE permitiria que a empresa aumentasse a segurança para as suas máquinas em relação a variação de energia e economizasse, ao menos, 8% no consumo de energia. Os dados estão presentes na tabela abaixo.

Tabela 2: Consumo de energia elétrica

Meses	Fornecedora A		Excedente		Fornecedora B	
	MWh	R\$	MWh	R\$	MWh	R\$
jan	1.488,00	240.029,28	356,00	14.539,04	1.860,77	247.024,20
fev	1.394,00	224.866,14	428,24	28.979,00	1.827,74	263.523,93
mar	1.488,00	240.029,28	508,25	68.695,48	2.003,70	263.523,93
abr	1.440,00	232.286,40	359,54	72.663,84	1.897,97	333.289,94
mai	1.488,00	240.029,28	388,21	74.280,87	1.887,07	271.005,32
jun	1.440,00	232.286,40	298,61	37.681,85	1.749,88	254.152,72
jul	1.488,00	240.029,28	213,60	21.731,36	1.716,75	236.698,76
ago	1.488,00	240.029,28	426,70	52.696,83	1.927,98	235.862,73
média	1.488,00	240.029,28	373,88	45.189,34	1.873,92	258.838,33
total 8 meses	11.714,00	1.889.585,34	2.979,15	371.268,27	14.871,86	2.105.081,53
total 12 meses	17.666,00	2.849.702,46	4.474,65	552.025,63	22.367,54	3.140.434,83

Fonte: Os autores

Após análise técnica junto ao fornecedor, a empresa optou por instalar um total de 41 REs dimensionados conforme o consumo de cada conjunto de máquinas resultando em um investimento total de 678.475 reais.

O valor total de energia elétrica consumida pela empresa em um ano foi estimado em 44.509,19 MWh. Considerando a economia de, ao menos, 8% do total consumido, obtém-se 3.560,66 MWh por ano. De acordo com os valores pagos pela empresa pela energia excedente, foi calculado uma economia anual de R\$ 443.736,74. Os dados estão presentes na tabela abaixo.

Tabela 3: Avaliação econômica

	MWh	R\$
Fornecedora A	17.666,00	2.849.702,46
Excedente	4.474,65	552.025,63
Fornecedora B	22.367,54	3.140.434,83
Total	44.508,19	6.542.162,92
Economia 8%	3.560,66	443.736,74
Investimentos		678.475,00
ROI		65,40%
Prazo de retorno	1,53	18,35 meses

Fonte: os autores

Portanto, é possível constatar que a adoção de práticas de P+L por meio da instalação de REs com o propósito de reduzir o consumo de energia elétrica resultou em uma economia

estimada de 443.736,74 reais, considerando a redução conservadora de 8% de economia. Dessa forma, o investimento total realizado será retornado após aproximadamente 18 meses.

A avaliação ambiental considerou o total de 3.560,66 MWh reduzidos no consumo anual, que permitiu evitar a quantidade de 263.705,14 kg de carbono equivalente em um ano emitidos na atmosfera em decorrência do processo de geração de energia elétrica em grandes hidroelétricas. Os dados estão na tabela abaixo.

Tabela 4: Avaliação ambiental

Descrição	Quantidade	Unidade
Economia de energia elétrica	3.560,66	MWh / ano
Economia de energia elétrica	3.560.655,20	kWh / ano
Impacto CO ₂ eq hidroelétrica	0,07378	kg CO ₂ eq / kWh
Impacto evitado pela empresa	262.705,14	kg CO ₂ eq / ano

Fonte: os autores

5. CONCLUSÃO

Este trabalho conclui que é possível avaliar as vantagens econômicas e ambientais decorrentes da implantação de práticas de P+L, como por exemplo a adoção de tecnologia mais limpas, em uma empresa do setor metal mecânico.

Os resultados obtidos foram considerados favoráveis economicamente para a implantação, a partir do momento em que o cálculo do retorno do investimento apontou 18 meses para quitar o investimento necessário, mesmo o montante para o investimento ter sido destacado como muito elevado.

Quanto aos resultados ambientais, o cálculo do carbono equivalente evitado em decorrência da redução do consumo de energia elétrica foi considerado ótimo para a imagem da empresa de acordo com os grandes executivos. Um total superior à 260 toneladas de carbono equivalente foram evitadas de serem emitidas à atmosfera no processo de geração de energia por hidroelétricas. A título de vinculação aos funcionários e sociedade, foi utilizado como base comparativa o valor médio anual de consumo de energia elétrica para uma residência como 1.894,8 kWh (Brasil, 2018), dessa forma, a redução do consumo de energia da empresa poderia alimentar mais de 1.879 residências por ano.

Uma limitação deste trabalho é devido ser um estudo de caso único, dificultando que estes resultados sejam extrapolados para outras empresas fora do setor metal mecânico brasileiro. Pesquisas futuras podem utilizar-se desta limitação e buscar implantações similares em empresas de outros segmentos também caracterizadas como grandes consumidoras de energia elétrica, além disso, a adoção de novas tecnologias mais limpas para a redução do consumo de energia elétrica também pode ser melhor explorada.

6. REFERÊNCIAS



- BARROS, M.; PIEKARSKI, C.; DE FRANCISCO, A.** Carbon footprint of electricity generation in Brazil: An analysis of the 2016–2026 period. *Energies*, v. 11, n. 6, p. 1412, 2018.
- BERMANN, C.** Energia no Brasil: para quê. Para quem, v. 2, 2002.
- BLANCO, A. M.; PARRA, E. E.** The effects on radial distribution networks caused by replacing incandescent lamps with compact fluorescent lamps and LEDs. *Ingeniería e Investigación*, v. 31, p. 97-101, 2011.
- BRASIL**, Ministério de Minas e Energia. *Projeção da Demanda de Energia Elétrica*, EPE, 2017.
- BRASIL**, Ministério de Minas e Energia. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica*, EPE, 2018.
- CHIARELLO, G. R.** Tempos de produção: um estudo em uma indústria do setor metal mecânico. 2017.
- COSTA, A. C. C., DE CARVALHO NEIVA PINHEIRO, V., PEGORETI, T. C., COIADO, L. C., & FRANCATO, A. L.** Recent changes in brazilian electricity demand and its effects on load level definition. In: 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE). IEEE, 2018. p. 1-5.
- DE GUIMARÃES, J. C. F., SEVERO, E. A., & VIEIRA, P. S.** Cleaner production, project management and strategic drivers: an empirical study. *Journal of cleaner production*, vol. 141, pp. 881-890, 2017.
- DODA, B., GENNAIOLI, A. GOULDSON, D. GROVER AND R. SULLIVAN.** Are corporate carbon management practices reducing corporate carbon emissions? *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 2015.
- GIL, A. C.** Estudo de caso. Atlas, 2009.
- IEA, International Energy Agency.** *Energy Climate Change & Environment*, 2016.
- JORNAL DO COMÉRCIO**, Setor metalmeccânico à espera da retomada. Disponível em: <http://jcrs.uol.com.br/_conteudo/2017/04/especiais/dia_da_industria_2017/558417-a-espera-da-retomada>. Acessado em 02 de junho de 2017.
- LI, T. H.; XIANG, D. Q.** Study on Recycling and Disposal of Waste Fluorescent Lamps. In: *Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publications. pp. 690-694, 2013.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M.** Fundamentos de metodologia científica. 7ª Edição. São Paulo: Atlas, 2010.
- MATOS, L. M., ANHOLON, R., DA SILVA, D., ORDOÑEZ, R. E. C., QUELHAS, O. L. G., LEAL FILHO, W., & DE SANTA-EULALIA, L. A.** Implementation of cleaner production: A ten-year retrospective on benefits and difficulties found. *Journal of Cleaner Production*, v. 187, pp. 409-420, 2018.
- ONS, OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO**, 2019. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin/>>. Acesso em: 20 maio 2019.
- OLIVEIRA NETO, G. C., GODINHO FILHO, M., Ganga, G. M. D., NAAS, I. A., & VENDRAMETTO, O.** Princípios e ferramentas da produção mais limpa: um estudo exploratório em empresas brasileiras. *Gest. Prod.*, São Carlos, vol. 22(2), pp. 326-344, 2015.
- RIBEIRO, M. D. S.** O tratamento contábil dos créditos de carbono (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo), 2005.
- SOMATEC.** O produto. Disponível em: <<http://somatecblocking.com.br/>>. Acesso em: 18 maio 2019.
- UNEP.** Resource Efficient and Cleaner Production, 1990. Disponível em: <<http://www.unep.fr/scp/cp/>>. Acesso em: 20 maio 2019.
- VIEIRA, N. D. B.; NOGUEIRA, L. A. H.; HADDAD, J.** An assessment of CO2 emissions avoided by energy-efficiency programs: A general methodology and a case study in Brazil. *Energy*, v. 142, pp. 702-715, 2018.
- YIN, R. K.** Estudo de Caso-: Planejamento e métodos. Bookman editora, 2015.