

Análise econômica e ambiental da implantação de uma unidade de cogeração de energia por meio da produção mais limpa com princípios de economia circular

HENRRICCO NIEVES PUJOL TUCCI
UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO UNINOVE

GERALDO CARDOSO DE OLIVEIRA NETO
UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

MARCOS GERALDO GOMES

ANÁLISE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO DE UMA UNIDADE DE COGERAÇÃO DE ENERGIA POR MEIO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA COM PRINCÍPIOS DE ECONOMIA CIRCULAR

1. INTRODUÇÃO

A Produção Mais Limpa (P+L) é uma ferramenta que tem ganhado o interesse das empresas por conta da divulgação de casos pioneiros de sucesso que conquistaram aumento da eficiência operacional e, por consequência, maior lucratividade. Além de que, a P+L permite a solução de problemas ambientais de forma estruturada e preventiva melhorando as condições de saúde e segurança dos trabalhadores (Gianetti *et al.*, 2006).

Por outro lado, as empresas recebem uma pressão do mercado no sentido de se responsabilizarem pelo ciclo de vida completo dos seus produtos e pela poluição dos seus processos (Lee, 2017), em outras palavras, as técnicas de fim de tubo tradicionalmente aplicadas pelas fábricas para tratar os resíduos, poluentes, dejetos e efluentes, não são medidas que resolvem os problemas ambientais com profundidade e de forma preventiva, visto que partem do princípio que os recursos naturais são ilimitados, ledo engano (Jabbour, 2010).

Adicionalmente, as indústrias brasileiras têm sofrido com a estagnação dos seus índices de produtividade ao mesmo tempo que ocorre uma invasão crescente de produtos estrangeiros com preços inferiores aos produtos nacionais, dessa forma, as empresas localizadas no Brasil estão se mobilizando para economizar com inteligência (Chiarello, 2017). Neste contexto, a adoção de práticas de P+L auxilia as empresas a reduzir o consumo de matéria-prima e recursos naturais, como água e energia elétrica (Oliveira Neto *et al.*, 2015).

A respeito da energia elétrica, o governo brasileiro estabeleceu medidas para que o consumo de energia elétrica fosse realizado de forma racional e, em decorrência do poder da aplicação da lei, as empresas que não alcançam as metas estabelecidas são punidas por meio de multas (Carlo *et al.*, 2004). No entanto, desde o início dos anos 2000, quando houve uma redução na demanda por energia elétrica devido a troca maciça das lâmpadas incandescente por fluorescentes (Costa *et al.*, 2018), o consumo de energia elétrica somente aumenta, há uma estimativa que até o ano de 2026 a indústria brasileira irá aumentar o seu consumo em 3,4% a cada ano (Brasil, 2017).

Vale destacar que existem diversas práticas de P+L, inclusive a adoção de P+L estimula que as empresas busquem novas tecnologias limpas (De Guimarães *et al.*, 2017) no sentido de obter ganhos econômicos e ambientais (Oliveira Neto *et al.*, 2017). Uma alternativa para a economia de energia elétrica é a utilização de um processo de cogeração de energia, ou seja, a utilização combinada de calor e eletricidade trazendo eficiência para todo o sistema da empresa (Castro, 2009).

Dessa forma, é possível reutilizar os resíduos gerados pela produção para gerar energia ao invés do descarte. Este conceito está alinhado com os princípios da economia circular que tem por objetivo a utilização e transformação dos resíduos em materiais para serem utilizados novamente nos processos produtivos (Witjes e Lozano, 2016), consequentemente, melhorando a eficiência das operações da empresa ao mesmo tempo que reduz os custos (Leising *et al.*, 2018).

Portanto, existe a necessidade de melhorar a eficiência das empresas, além de que, o controle sobre o consumo de energia elétrica tem sido mais restritivo e punitivo, como também a sociedade está pressionando a cada dia mais as empresas a se responsabilizarem pelos impactos ambientais gerados, por fim, há poucos trabalhos científicos que abordam as práticas de P+L ou os princípios da economia circular com uma perspectiva quantitativa, focando nos ganhos econômicos e ambientais. Diante desta lacuna de

pesquisa, foi desenvolvida a seguinte pergunta de pesquisa: Quais são os benefícios econômicos e ambientais ao implantar uma unidade de cogeração de energia considerando práticas de P+L e princípios de economia circular? Deste modo, o objetivo deste trabalho é analisar os benefícios econômicos e ambientais de uma unidade de cogeração de energia em uma empresa de calcinação de coque verde de petróleo que optou por implantar práticas de P+L e princípios de economia circular.

Para tanto, este trabalho seguirá a seguinte estrutura com o intuito de responder à pergunta de pesquisa e alcançar o objetivo proposto: após o capítulo de introdução, será apresentado a revisão da literatura e em seguida a metodologia utilizada para viabilizar este trabalho, o quarto capítulo será destinada aos resultados obtidos por meio do estudo de caso e discussão, por fim, as considerações finais no capítulo da conclusão.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Práticas de Produção Mais Limpa como ferramenta para melhorar os aspectos econômicos e ambientais em relação ao uso racional de energia possibilitando alcançar os princípios da Economia Circular

Uma crescente pressão por parte da sociedade para que as empresas se responsabilizem pelos problemas ambientais que os seus produtos e os seus processos produtivos estão causando são um dos fatores que fazem com que as empresas busquem soluções para resolver os seus passivos ambientais; com o advento da internet, popularização dos celulares e proliferação do uso de redes sociais, a utilização de fóruns de discussão virtuais globalizou o acompanhamento, por parte da sociedade, das medidas ambientais desenvolvidas pelas empresas (Lee, 2017; Dong *et al.*, 2018).

As medidas comumente adotadas pelas empresas para combater a poluição gerada pelos seus processos produtivos são as técnicas de fim de tubo, este tipo de ação busca tratar os resíduos, rejeitos, emissões e efluentes resultantes dos sistemas de fabricação, exatamente por focar as atitudes somente após a transformação dos produtos, ou seja, no final do processo, chama-se fim de tubo; a desvantagem deste tipo de medida é que não resolve os problemas ambientais na sua origem, por exemplo, os problemas que envolvem a extração das matérias-primas, logo é possível constatar que este tipo de medida parte do pressuposto que os recursos naturais são ilimitados (Gianetti *et al.*, 2006; Jabbour, 2010).

As práticas de P+L tem sido uma solução encontrada pelas empresas que querem fugir deste dogma, a implantação destas práticas melhora a eficiência operacional por meio da redução de desperdícios, ao mesmo tempo que traz uma abordagem preventiva para os problemas ambientais; logo, as práticas de P+L possibilitam que as empresas alcancem ganhos ambientais, por meio da redução dos impactos ambientais e ganhos econômicos, por exemplo por meio do uso racional de recursos naturais como água e energia elétrica (Bass, 1995; Oliveira Neto *et al.*, 2017).

Complementarmente, a redução de desperdícios possibilita identificar oportunidades de reutilização de resíduos da produção iniciando a transição da economia linear para a economia circular (Geissdoerfer *et al.*, 2017; Pollice, 2018). De maneira similar, os princípios da economia circular promovem a utilização de matérias-primas renováveis, montagens que facilitam a remanufatura e aumento da durabilidade dos produtos (Ghisellini *et al.*, 2016; Witjes e Lozano, 2016).

O conceito de circularidade é suportado pela regeneração dos recursos e materiais. Ao considerar o recurso energia utilizado nos processos produtivos, os princípios da economia circular estimulam a correção dos problemas de vazamento de energia, implantação de um programa de manutenção preventiva, investimentos em tecnologias

mais limpas, além da análise de viabilidade de cogeração de energia (Leising *et al.*, 2018; Pollice, 2018).

O uso de energia elétrica nos processos produtivos é elevado e a geração de energia no Brasil ocorre por hidroelétricas ou usinas termoelétricas, este último tipo utiliza carvão, óleo diesel ou gás natural para gerar energia, por sua vez, as hidroelétricas alagam grandes porções de terra, alteração o curso dos rios e interferem na fauna e flora do local; desta forma ficam bem caracterizados os impactos ambientais causados pela geração de energia neste país (Bermann, 2002).

O uso racional de energia elétrica propicia a diminuição do consumo, além de minimizar os riscos de ultrapassar os limites estabelecidos pelo governo brasileiro e receber penalizações em forma de multas e sanções (Carlo *et al.*, 2004).

2.2. O processo de cogeração de energia por meio de coque de petróleo

O processo de cogeração de energia é a produção combinada de calor e eletricidade a partir de uma mesma fonte energética, apontando as suas principais vantagens em termos de eficiência. Em termos gerais, para a obtenção de uma mesma quantidade de energia final, os sistemas de cogeração conseguem ser bem mais eficientes, requerendo apenas cerca de 65% da energia primária necessária em sistemas tradicionais. Há diversas tecnologias que podem ser empregadas para realizar a cogeração de energia, como turbinas a gás, motores alternativos, turbinas a vapor, microturbinas e pilhas de combustível (Castro, 2009).

O processo de calcinação do coque verde petróleo envolve reações químicas que ocorrem no processo de liberação e combustão dos materiais voláteis do coque verde, por meio dos balanços de massa e taxas de conversão físicas e químicas, foi desenvolvida uma simulação virtual que demonstrou a possibilidade de processar qualquer tipo de coque verde com diferentes teores de enxofre, umidade e materiais voláteis ao ajustar as quantidades alimentadas de ar e combustível (Elkanzi *et al.*, 2012).

O gás de forno de coque pode ser explorado como novas alternativas renováveis de energia no sentido de utilizar ao máximo os recursos energéticos já disponíveis de modo a atender à crescente demanda de energia de maneira sustentável. A utilização extensiva do gás de forno de coque como fonte energética poderia contribuir de modo significativo para promover a autossuficiência energética de modo ambientalmente correto das empresas de processamento de coque de petróleo (Razzaq *et al.*, 2013).

O consumo de coque de petróleo pode ser utilizado em diversos setores industriais, as empresas que optam pelo coque verde, aquele com maior teor de enxofre, os utiliza como geração de energia por meio da queima desse produto em caldeiras de leito fluidizado. Quanto as emissões do processo de produção de coque, a qualidade da matéria prima as condições operacionais do processo influenciam no processo de cogeração de energia (Santos *et al.*, 2015).

É importante destacar que o coque calcinado de petróleo (CCP) é um produto sólido, com elevado teor de carbono, entre 98% e 99%, utilizado como insumo básico na indústria de alumínio, de titânio e de aço, desta forma, o CCP é caracterizado por ser um importante commodity industrial que conecta o setor de petróleo e as indústrias metalúrgicas (Santos *et al.*, 2015; Boateng, 2015).

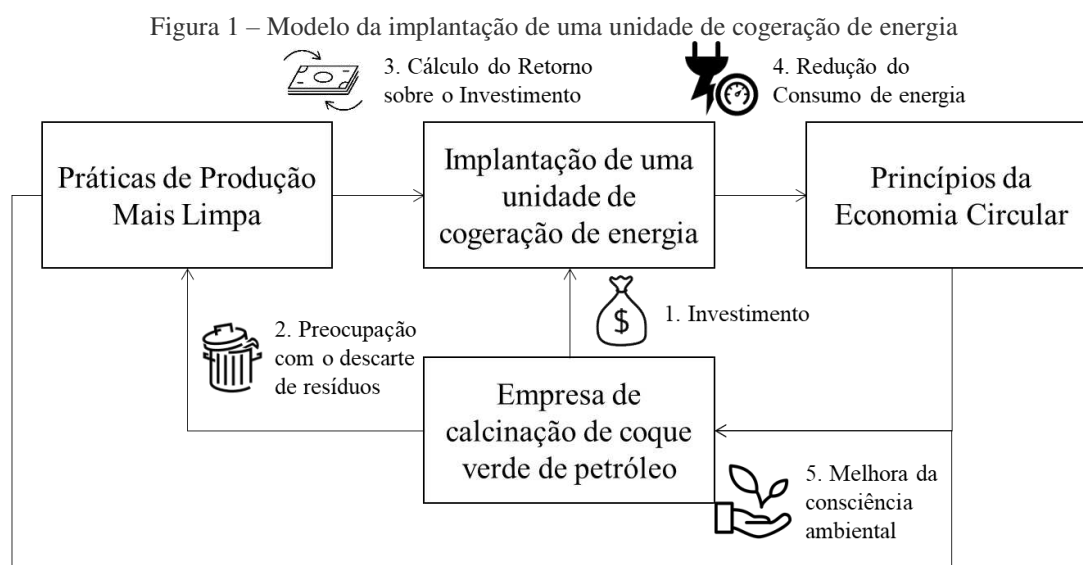
2.3. A implantação de uma unidade de cogeração de energia considerando práticas de produção mais limpa e princípios da economia circular

As empresas localizadas no Brasil possuem dificuldades adicionais para realizar investimentos em tecnologias mais limpas quando comparadas com outros países devido o momento econômico delicado (De Guimarães *et al.*, 2017). A justificativa para a adoção

de práticas de P+L que dependem de investimentos pode ser viabilizada por meio do cálculo do retorno sobre o investimento (Oliveira Neto *et al.*, 2017).

Adicionalmente, a redução do consumo de energia por meio da cogeração está relacionada tanto com as práticas de P+L quanto com os princípios da economia circular (Da Silva, 2016; Souza-Zomer *et al.*, 2018), um desafio recente para empresas que almejam o Desenvolvimento Sustentável (Homrich *et al.*, 2018).

A utilização do CCP com o intuito de realizar o processo de cogeração de energia possibilita que a empresa obtenha benefícios econômicos por meio da redução do consumo de energia elétrica. Deste modo, justificando a realização do investimento. É importante mencionar que a energia elétrica brasileira é gerada em sua maior parte por hidroelétricas, ou seja, a redução do consumo também possibilita calcular os impactos ambientais evitados pela energia não consumida. A figura 1 a seguir ilustra este modelo.



Além disso, a utilização do CCP para realizar a cogeração de energia está relacionada com a aplicação de práticas de P+L enquanto que a reutilização dos resíduos em detrimento do descarte está relacionada com os princípios de EC. A implantação dessa unidade considerando os aspectos ambientais impulsiona a consciência ambiental.

3. METODOLOGIA

3.1. Métodos de pesquisa e procedimentos de coletas de dados

Este trabalho foi desenvolvido utilizando os métodos de estudo de caso, onde os pesquisadores realizam observações dos processos e entrevistas para compreenderem o status quo e formatarem as conquistas da empresa estudada para a escrita científica. Ao adotar o método de estudo de caso, é possível compreender, constatar e confirmar as teorias pesquisadas em um estudo exploratório. Vale destacar que este método é comumente utilizado em pesquisas que estudam processos dinâmicos, que variam ao longo do tempo (Eisenhart, 1989).

Os procedimentos adotados foram classificados como exploratórios visto que buscaram na prática as informações que fundamentaram este trabalho, contando com uma abordagem quantitativa, uma vez que foram considerados dados numéricos e valores de referência (Yin, 2017).

Em consonância com os fundamentos do método de estudo de caso, este trabalho seguiu três importantes etapas, primeiramente foi realizado o levantamento bibliográfico

e apresentado neste trabalho no capítulo da revisão da literatura por meio das teorias e conceitos já desenvolvidos até o momento sobre este assunto. A seguir os pesquisadores foram à campo para realizar as entrevistas semiestruturadas com os gestores e diretores da empresa pesquisada que apresentaram detalhes do processo que não seriam possíveis de serem constatados somente pela observação. Por fim, foram analisados exemplos de aplicação e conhecimentos técnicos do funcionamento do processo com o intuito de comparar e compreender os detalhes restantes que, logicamente, contribuíram para o entendimento (Yin, 2017).

3.2. Procedimentos de análises dos dados

Em decorrência do objetivo deste trabalho ter sido desenvolvido em função dos aspectos econômicos e ambientais do processo de cogeração de energia, é importante frisar que os cálculos das avaliações econômicas foram obtidos em função das informações disponibilizadas pelos representantes da empresa por conta da implantação da unidade de cogeração de energia.

O método escolhido para apresentar os benefícios econômicos foi o Retorno Sobre O Investimento, conhecido em inglês como *Return Of Investment* (ROI) devido a sua ampla aplicação e facilidade de interpretação. Conforme apresentado na equação 1 abaixo, o cálculo do ROI consiste na divisão da somatória dos ganhos pela somatória dos investimentos (Martins, 2000). O método ROI é consolidado e robusto, sua amplitude de aplicação o define como padronizado, enquanto que sua simplicidade é um trunfo para gestores de empresas de diferentes segmentos e portes (Bauer, 1916; Digrius e Keen, 2002).

$$ROI = \frac{\text{Ganhos}}{\text{Investimentos}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Por sua vez, a implantação da unidade de cogeração de energia possibilitou a redução do consumo de energia elétrica sem resultar na geração de novas emissões.

Vale ressaltar que o processo de geração de energia elétrica por meio de hidroelétricas é responsável por impactos ambientais. Este trabalho adaptou o cálculo de carbonos equivalentes para quantificar estes impactos. Ou seja, a quantidade de quilowatts por hora da energia elétrica não consumida foram convertidos na somatória das emissões evitadas.

Dessa forma, a avaliação ambiental foi desenvolvida considerando os impactos ambientais evitados em função das emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE). Este método utiliza um denominador comum para que seja possível considerar os efeitos ambientais causados por todos os gases. A emissão de metano, por exemplo, é responsável por grandes impactos ambientais, portanto, possui um peso vinte vezes maior do que a mesma quantidade de carbono (Ribeiro, 2005).

Este trabalho considerou a matriz energética mais utilizada no Brasil, ou seja, as hidroelétricas. Logo, este trabalho considerou as emissões desta fonte de energia para realizar os cálculos dos benefícios ambientais. Este trabalho utilizou os dados da tabela abaixo.

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

Fonte	Descrição	Emissões (kg.CO2eq./kWh)
Hidroelétricas	Produção de energia elétrica em regiões tropicais	0,07378

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

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

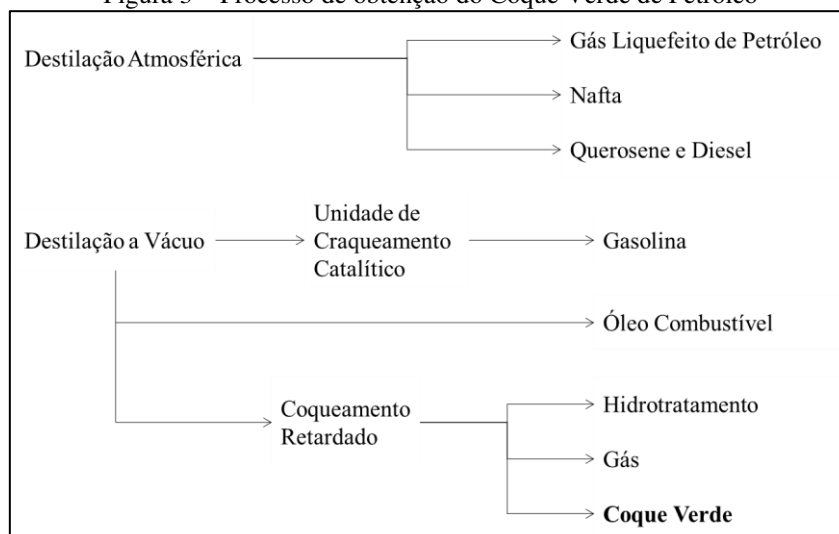
A empresa deste estudo de caso é atuante no setor petroquímico a mais de 40 anos, é uma empresa de grande porte, nacional e com uma receita operacional líquida de aproximadamente 850 milhões de reais por ano. Os dados deste trabalho foram extraídos da unidade de cogeração de energia (figura 2) localizada no município de Cubatão, no estado de São Paulo, onde é realizada a produção e comercialização do CCP, vale destacar que a empresa é reconhecida como uma das grandes fornecedoras de CCP na América Latina.

Figura 2 – Visão externa da unidade de cogeração de energia



O processamento de petróleo é realizado por meio de múltiplas etapas sequenciais nas refinarias conforme apresentado na figura 3 a seguir, um destes processos é o coqueamento, realizado nos resíduos oriundos da etapa de destilação, o objetivo do processo de coqueamento é extrair as frações leves e nobres remanescente nestes resíduos como por exemplo gases combustíveis, nafta e gasóleos.

Figura 3 – Processo de obtenção do Coque Verde de Petróleo



A calcinação de coque é um processo que envolve o aquecimento do coque verde de petróleo para remover os seus materiais voláteis, purificando o coque para processamentos posteriores. Este processo é conduzido em um forno cilíndrico rotativo e é resfriado a água quando é retirado do forno. Os fornos são aquecidos por um queimador de gás natural que é usado para aquecer o ambiente do forno durante as partidas, porém a maior parte do calor necessário provém da combustão dos materiais voláteis desprendidos do coque verde dentro do forno.

A quantidade de energia disponível, em função da queima dos gases e da matéria volátil dentro do forno rotativo, é utilizada na geração de vapor d'água em caldeiras de recuperação de calor e, posteriormente, geração de energia elétrica por meio de uma turbina-geradora, otimizando todo o ciclo do processo industrial da empresa. Um ponto importante é que este processo de cogeração de energia não requer a aquisição de novos insumos além dos já utilizados no processo produtivo.

A unidade de cogeração de energia possui a capacidade instalada de 18 MW, com esta quantidade de energia seria possível abastecer 26.000 residências durante um mês. Desta forma, a energia elétrica gerada é consumida dentro da própria planta industrial e o excedente é comercializado via rede elétrica de distribuição.

A operação completa da unidade de cogeração de energia foi estimada em 20 anos em decorrência do prazo de vida útil da usina. O investimento total para a aquisição e instalação da unidade de cogeração de energia foi de aproximadamente 100 milhões de reais e foi possibilitado por meio de um financiamento de 10 anos, conforme apresentado na tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Análise Econômica da Implantação da Usina de Cogeração de Energia

Elementos	Quantidades	Unidades
Investimento total para a implantação da unidade de cogeração de energia	100.000.000	R\$
Vida útil da unidade	20	anos
Prazo do financiamento	10	anos
Ganho estimado com a unidade de cogeração de energia ao final da vida útil	100.000.000	R\$
Retorno sobre o Investimento - ROI	10	anos

Os cálculos do ROI foram realizados considerando os impostos pagos atualmente, a evolução dos valores do consumo de energia elétrica e insumos. Foram utilizadas estimativas conservadoras, desconsiderando incentivos que possam a ser obtidos em decorrência da operação plena deste projeto ou mesmo um aumento atípico dos valores de energia elétrica que impactariam positivamente o caixa da empresa em função da devolução da energia elétrica excedente à rede.

A partir destas premissas, o prazo calculado para retorno sobre o investimento foi de aproximadamente 10 anos, ou seja, a partir do encerramento do pagamento do financiamento adquirido, a unidade de cogeração de energia passa a ser lucrativa para a empresa, além de que, ao final do vigésimo ano de operação a unidade de cogeração terá duplicado o capital investido mesmo considerando a depreciação das instalações.

Portanto, o ganho econômico neste período será de aproximadamente 100 milhões de reais, destacando que foram consideradas estimativas conservadoras. Este resultado corrobora com as pesquisas de De Guimarães *et al.* (2017) e Oliveira Neto *et al.* (2017)

que afirma que calcular o ROI dos investimentos em tecnologias mais limpas estimulam as empresas a implantar práticas de P+L. Portanto, este trabalho acrescenta por apresentar meios para que as empresas implantem uma tecnologia mais limpa.

Quanto aos ganhos ambientais, é possível observar na tabela 3 a seguir que a unidade de cogeração de energia possibilitou a redução do consumo de energia elétrica em aproximadamente 18 MW todos os meses ou 216 MW ao ano, logo, ao término do vigésimo ano de operação da unidade de cogeração de energia a empresa terá deixado de consumir mais de 4.320 MW reduzindo os impactos ambientais desta geração.

Tabela 3: Análise Ambiental da Implantação da Usina de Cogeração de Energia

Elementos	Quantidades	Unidades
Geração de energia produzida pela unidade de cogeração de energia	18	MW/mês
	216	MW/ano
Estimativa de energia não consumida ao final da vida útil	4.320	MW/projeto
Carbono equivalente: Hidroelétricas	0,07378	kg.CO2eq./kWh
Carbono equivalente: Emissões evitadas anualmente	15.936	kgCO2eq./ano
	15,9	tonCO2eq./ano
Carbono equivalente: Emissões evitadas ao longo da vida útil da unidade	318.730	kgCO2eq./projeto
	318,7	tonCO2eq./projeto

Portanto, a unidade de cogeração de energia, por meio da adoção de práticas de P+L, evitou a emissão de 15,9 toneladas de carbono equivalente ao longo de um ano. Se for considerado a vida útil da unidade, estima-se que deixaram de ser emitidos pelo menos 318,7 toneladas de carbono equivalente. Este resultado corrobora com as pesquisas de Bass (1995), Leising *et al.* (2018) e Souza-Zomer *et al.* (2018) que afirmam que a redução do consumo de energia elétrica é conquistada por meio de práticas de P+L e princípios de economia circular e resulta em ganhos ambientais. Portanto, este trabalho acrescenta por apresentar meios para as empresas reduzirem os seus impactos ambientais.

5. CONCLUSÃO

A implantação de práticas de P+L suportou a empresa estudada a alcançar os princípios da economia circular, enquanto ajudou a melhorar a sua eficiência e apresentar a sociedade uma alternativa para reduzir o consumo de energia elétrica em suas operações. Dessa forma, foi possível obter benefícios econômicos e ambientais devido a instalação da unidade de cogeração de energia. Logo, este trabalho contribuiu para a teoria devido ter respondido à questão de pesquisa desenvolvida e, por consequência, preenchida a lacuna de pesquisa identificada a luz da literatura.

Este trabalho apresentou um ROI calculado de 10 anos e mesmo assim foi aprovado pelos executivos da empresa. Um período longo como este é considerado um fator impeditivo para a autorização de investimentos, ainda mais se tratando de valores na ordem de dezenas de milhões de reais. O principal fator para a instalação da unidade de cogeração de energia foi o elevado ganho monetário, ao longo dos 20 anos de vida útil da unidade estimou-se o ganho de 100 milhões de reais. Portanto, este trabalho acrescentou a prática por apresentar aos executivos e donos de empresas que é

interessante economicamente investir, mesmo que elevados montantes, em uma unidade de cogeração de energia.

Vale destacar que este trabalho calculou, por meio do método do carbono equivalente, a quantidade de emissões evitadas por conta da energia elétrica não consumida. Somente em um ano, a empresa deixou de consumir 216 MW da rede elétrica, portanto, não foram emitidos à atmosfera 15,9 toneladas de carbono equivalente no mesmo período. Ao considerar a totalidade do projeto da unidade de cogeração de energia, não foram consumidos 4.320 MW e foram reduzidos os impactos ambientais em, pelo menos, 318,7 toneladas de carbono equivalente. Portanto, este trabalho acrescentou a sociedade por apresentar que a cogeração de energia pode reduzir os impactos ambientais e que é possível medir a quantidade de poluentes não emitidos por meio do método de carbono equivalente.

Por outro lado, este trabalho é um estudo de caso único, em uma empresa de grande porte e de um setor da indústria específico, sugere-se para futuros pesquisadores que se apropriem destes métodos para mensurar os benefícios econômicos e ambientais em empresas de diferentes portes e setores.

REFERÊNCIAS

- Baas, L. W. (1995). Cleaner production: beyond projects. *Journal of Cleaner Production*, 3(1-2), 55-59.
- Barros, M. V., Piekarski, C. M., & De Francisco, A. C. (2018). Carbon footprint of electricity generation in Brazil: An analysis of the 2016–2026 period. *Energies*, 11(6), 1412.
- Bauer, J. Bases of Valuation in the Control of Return on Public Utility Investments. *The American Economic Review* (1916) 568-588.
- Bermann, C. (2002). Energia no Brasil: para quê. Para quem, 2.
- Boateng, A. A. (2015). Rotary kilns: transport phenomena and transport processes. Butterworth-Heinemann.
- Brasil, Ministério de Minas e Energia (2017) Projeção da Demanda de Energia Elétrica, EPE.
- Carlo, J., Pereira, F. O., & Lamberts, R. (2004). Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando propostas de eficiência energética para o código de obras do Recife. In Conferência Latino Americana De Construção Sustentável, Encontro Nacional De Tecnologia No Ambiente Construído (Vol. 10).
- Castro, R. M. (2009). Introdução à cogeração. DEEC/IST.
- Chiarello, G. R. (2017). Tempos de produção: um estudo em uma indústria do setor metal mecânico.
- Costa, A. C. C., Pinheiro, V. D. C. N., Pegoreti, T. C., Coiado, L. C., & Francato, A. L. (2018, May). Recent changes in brazilian electricity demand and its effects on load level definition. In 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE) (pp. 1-5). IEEE.
- Da Silva, P. C. (2016). Avaliação de práticas de produção mais limpa e sua relação com o desempenho organizacional: survey no setor têxtil brasileiro.
- De Guimarães, J. C. F., Severo, E. A., & Vieira, P. S. (2017). Cleaner production, project management and strategic drivers: an empirical study. *Journal of Cleaner Production*, 141, 881-890.
- Digrius, B., & Keen, J. (2002). Making technology investments profitable: ROI road map to better business cases.
- Dong, L., Li, Y., Wang, P., Feng, Z., & Ding, N. (2018). Cleaner production of monosodium glutamate in China. *Journal of Cleaner Production*, 190, 452-461.
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of management review*, 14(4), 532-550.
- Elkanzi, E. M., Marhoon, F. S., & Jasim, M. J. (2012, July). Rate-based Simulation of Coke Calcination in Rotary Kilns. In *Simultech* (pp. 5-10).
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, 114, 11-32.
- Giannetti, B. F., & Almeida, C. M. (2006). *Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações*. Editora Blucher.
- Homrich, A. S., Galvao, G., Abadia, L. G., & Carvalho, M. M. (2018). The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. *Journal of Cleaner Production*, 175, 525-543.

- Jabbour, C. J. C. (2010). Non-linear pathways of corporate environmental management: a survey of ISO 14001-certified companies in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 18(12), 1222-1225.
- Lee, Y. C. (2017). Corporate sustainable development and marketing communications on social media: Fortune 500 enterprises. *Business Strategy and the Environment*, 26(5), 569-583.
- Leising, E., Quist, J., & Bocken, N. (2018). Circular Economy in the building sector: Three cases and a collaboration tool. *Journal of Cleaner production*, 176, 976-989.
- Martins, E., Gelbeke, E. R., & Iudícibus, S. D. (2000). *Manual de contabilidade das sociedades por ações*. São Paulo: Atlas.
- Oliveira Neto, G. C., Leite, R. R., Shibao, F. Y., & Lucato, W. C. (2017). Framework to overcome barriers in the implementation of cleaner production in small and medium-sized enterprises: Multiple case studies in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 142, 50-62.
- Oliveira Neto, G. C., Godinho Filho, M., Ganga, G. M. D., Naas, I. A., & Vendrametto, O. (2015). Princípios e ferramentas da produção mais limpa: um estudo exploratório em empresas brasileiras. *Gestão & Produção*, 22(2), 326-344.
- Pimenta, H. C. D., & Gouvinhas, R. P. (2007). Implementação da produção mais limpa na indústria de panificação de Natal–RN. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, Paraná.
- Pollice, F. (2018). The new role of Procurement in a circular economy system.
- Razzaq, R., Li, C., & Zhang, S. (2013). Coke oven gas: availability, properties, purification, and utilization in China. *Fuel*, 113, 287-299.
- Ribeiro, M. D. S. (2005). *O tratamento contábil dos créditos de carbono* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Santos, A. R., da Silva, R. J., & Renó, M. L. G. (2015). Analysis of petroleum coke consumption in some industrial sectors. *Journal of Petroleum Science Research*, 4(1), 1-7.
- Sousa-Zomer, T. T., Magalhães, L., Zancul, E., Campos, L. M., & Cauchick-Miguel, P. A. (2018). Cleaner production as an antecedent for circular economy paradigm shift at the micro-level: evidence from a home appliance manufacturer. *Journal of Cleaner Production*, 185, 740-748.
- Tucci, H. N. P., da Silva, A. A., Costa, I., & de Oliveira Neto, G. C. (2020). Aplicação de práticas de produção mais limpa para reduzir o consumo de energia elétrica—uma avaliação econômica e ambiental. *Revista Valore*, 5, 17-26.
- Witjes, S., & Lozano, R. (2016). Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models. *Resources, Conservation and Recycling*, 112, 37-44.
- Yin, R. K. (2017). *Case study research and applications: Design and methods*. Sage publications.