

**UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Jefferson Celso de Agostinho**

***LEAN GREEN* COMO FERRAMENTA PARA MELHORIA DA  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UM ESTUDO DE CAMPO EM UMA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão Engenharia da Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Magno de Oliveira Valente

Araraquara  
2020

## FICHA CATALOGRÁFICA

A221L Agostinho, Jefferson Celso

Lean Green como ferramenta para melhoria da eficiência energética: um estudo de campo em uma estação de tratamento de esgoto/Jefferson Celso Agostinho. – Araraquara: Universidade de Araraquara, 2020. 112f.

Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara - UNIARA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Magno de Oliveira Valente

1. Lean. 2. Green. 3. MFVE. 4. Saneamento. 5. Eficiência energética.  
I. Título.

CDU 62-1

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGOSTINHO, J.C. ***Lean Green como ferramenta para melhoria da eficiência energética: um Estudo de campo em uma estação de tratamento de esgoto.*** 2020. 112f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara, Araraquara-SP.

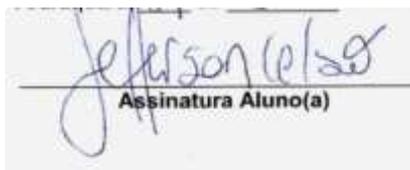
## ATESTADO DE AUTORIA E CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jefferson Celso De Agostinho

TÍTULO DO TRABALHO: *Lean Green* como ferramenta para melhoria da eficiência energética: um estudo de campo em uma estação de tratamento de esgoto.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação / 2020.

Conforme LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998, o autor declara ser integralmente responsável pelo conteúdo desta dissertação e concede à Universidade de Araraquara permissão para reproduzi-la, bem como emprestá-la, ou ainda vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação, e nenhuma parte dessa dissertação pode ser reproduzida sem a sua autorização.



Assinatura Aluno(a)

---

**JEFFERSON CELSO DE AGOSTINHO**

Universidade de Araraquara – UNIARA

Rua Carlos Gomes, 1217, Centro. CEP: 14801–340, Araraquara-SP

Email (do autor): [engjefferson@hotmail.com](mailto:engjefferson@hotmail.com)



UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara - UNIARA - para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

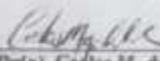
NOME DO AUTOR: JEFFERSON CELSO DE AGOSTINHO

TÍTULO DO TRABALHO:

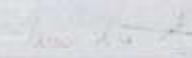
" LEAN GREEN COMO FERRAMENTA PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UM ESTUDO DE CAMPO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO."

Assinatura do(s) Examinador(a)

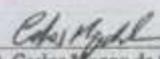
Conceito

  
Prof(a). Dr(a). Carlos M. de Oliveira Valente (orientador(a))  Aprovado ( ) Reprovado  
Universidade de Araraquara - UNIARA

  
Prof(a). Dr(a). José Luis Garcia Hermosilla  Aprovado ( ) Reprovado  
Universidade de Araraquara - UNIARA

  
Prof(a). Dr(a). Marcus Cesar Azevém A. de Castro  Aprovado ( ) Reprovado  
Universidade Est. Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP

Versão definitiva revisada pelo(s) orientador(a) em: 15/04/2020

  
Prof(a). Dr(a). Carlos Magno de Oliveira Valente (orientador(a))

## **DEDICATÓRIA**

A minha esposa Sílvia e minhas filhas,  
Amanda Cristina e Giovanna Emanuelle.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha esposa Sílvia e minhas filhas, por compreenderem as razões das minhas viagens e pelo amor, compreensão e dedicação a mim conferidos. A vocês, a expressão do meu amor.

Aos meus pais e irmãos, por me apoiarem incondicionalmente, compreenderem minha ausência e atrasos nas reuniões familiares e me olharem sempre com carinho e com a certeza do sucesso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Valente, por mostrar o caminho a ser percorrido, ter paciência de reconduzir rotas de conhecimentos e, principalmente, por ser protagonista nesse meu projeto de vida.

Aos colegas do mestrado que me acompanharam durante essa caminhada, corroborando a produção das tarefas, a produção de artigos para publicação, com ideias para resolver as ‘encruzilhadas’.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Produção, em especial à Luciana, pelo auxílio na comunicação com o comitê organizador do mestrado.

À empresa em que trabalho, por dar suporte à realização desse mestrado, tendo a certeza de se tratar da possibilidade de contribuição para com a instituição.

*“Que os vossos esforços desafiem as  
impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes  
coisas do homem foram conquistadas do que  
parecia impossível”.*

*(Charles Chaplin)*

## RESUMO

As evoluções tecnológicas, somadas à necessidade de se apontar um diferencial tanto do ponto de vista ambientalista, como do produtivo, para se obter uma melhor otimização dos recursos instalados e em operação, buscam uma redução dos desperdícios. A ferramenta *Lean* e *Green* direciona melhorias dos processos produtivos e ambientais, e estende a planificação do processo com uma visão do consumo de energia. O mapeamento do fluxo de valor de energia (MFVE) foi analisado em uma empresa de saneamento no setor de tratamento de esgoto, por meio da construção inicial do mapeamento do estado atual, com propostas de melhora no mapeamento do estado futuro e consolidação dos resultados apontados. O objetivo dessa pesquisa consistiu na implantação do MFVE para a melhoria na eficiência energética (EE), com a identificação dos fatores, validação dos procedimentos e registros dos procedimentos de implantação. Esse trabalho elaborou uma análise experimental de campo e apresentou resultados variáveis, independentes das intervenções do pesquisador, que poderá ser aplicada em qualquer ramo de atividade produtiva, tendo como foco o processo produtivo e não necessariamente a planta das instalações. Para o cumprimento dos objetivos, foi proposto um protocolo de pesquisa, com 10 passos para a aplicação do MFVE e avaliação das ações para melhoria da eficiência energética. Após o levantamento de dados, comparou-se a energia direta com a energia indireta, verificando-se o percentual da energia gasta no fenômeno e o que efetivamente agregou valor ao produto. A técnica de coleta de dados proposta foi a do levantamento de dados diretamente no chão de fábrica, coletados pelo pesquisador, observando-se a individualidade de cada setor do processo e levando em consideração ainda a compreensão do todo o processo estudado. Com os resultados obtidos, demonstrou-se a economia energética que pode ser obtida por mudanças pontuais e precisas que transformadas em custos aproximaram uma economia de trezentos mil dólares. O valor da originalidade desse estudo se caracteriza pelo vasto campo de aplicação em empresas com atividades ambientais, com melhoras na EE.

**Palavras-chave:** *Lean*. *Green*. MFVE. Saneamento. Eficiência Energética.

## ABSTRACT

*Technological developments, added to the need to point out a differential both from the environmental and productive point of view, in order to obtain a better optimization of the installed and operating resources, seek a reduction of wastes. The Lean and Green tool directs improvements in the production and environmental processes, and extends the planning of the process with a view of energy consumption. The mapping of the energy value flow (MFVE) was analyzed in a sanitation company, in the sewage treatment sector, through the initial construction of the current state mapping, with improvement proposals in the future state mapping and consolidation of the indicated results. The objective of this research was to implement the MFVE to improve the energy efficiency (EE), with the identification of factors, the validation of procedures and the records of implantation procedures. This research developed an experimental field analysis and presented variable results independent of the researcher's interventions, which can be applied in any branch of productive activity, focusing on the productive process and not necessarily on the plant of the facilities. In order to achieve the objectives, it was proposed a research protocol, with 10 steps for the application of the MFVE and the evaluation of actions to improve energy efficiency. After collecting the data, direct energy was compared with indirect energy, to verify the percentage of energy spent on the phenomenon and what effectively was the added value to the product. The proposed data collection technique was to collect data directly on the shop floor, collected by the researcher, observing the individuality of each sector of the process and taking into account the understanding of the entire process studied. With the results obtained, it was demonstrated the energy savings that can be obtained by specific and precise changes that, turned into costs, approach a savings of three hundred thousand dollars. The value of the originality of this study is characterized by the wide field of application in companies with environmental activities, with improvements in EE.*

**Keywords:** *Lean. Green. MFVE. Sanitation. Energy Efficiency.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação do estudo (Fonte: Próprio autor).....	25
Figura 2: Ícones do fluxo de Materiais .....	31
Figura 3: Ícone do fluxo de Informações.....	31
Figura 4: Mapa de Fluxo de Valor (MFV) .....	32
Figura 5 – Etapas de aplicação do mapa de fluxo de valor (MFV) .....	32
Figura 6 – Exemplo de um diagrama MEFA (produção de energia a partir de gás UCG) .....	43
Figura 7 – Exemplo de um diagrama Sandkey (produção de energia a partir de gás UCG) .....	44
Figura 8 – Fluxograma do método para aumentar a eficiência de um equipamentos no sistema de manufatura a partir de medições e análise. ....	45
Figura 9 – Perfil de potência da esteira após análise e reprogramação .....	46
Figure 10 – Métodos propostos pela EPA (2007a) para inclusão de dados de consumo de energia em mapas de fluxo de valor .....	48
Figura 11 – Exemplo de inserção de uma “linha de material” no mapa de fluxo de valor .....	49
Figura 12 – Mapa de fluxo de valor de energia proposta pela EPA (2011).....	50
Figura 13 – MFV com a indicação do consumo de energia.....	51
Figura 14 – Gráfico de potência consumida de uma máquina de usinagem, indicando os tempos efetivos de usinagem (agregação de valor).....	53
Figura 15: Representação esquemática de um MFVE, considerando os tempos e energias efetivas de agregação ( $t_{nva}$ e $E_{nva}$ ) e não agregação de valor ( $t_{va}$ e $E_{va}$ ).....	54
Figura 16: Fluxograma ilustrativo da estrutura do WESM.....	56
Figura 17 – Figura Epítome das etapas da aplicação MFV .....	58
Figura 18 – Estação de Tratamento de Esgoto Rio Preto. ....	71
Figura 19: Casa das bombas da ETE Rio Preto (estação elevatória) .....	72
Figura 20: Soprador Excêntrico Multiestágio. ....	73
Figura 21 – Fluxograma macro do tratamento de esgoto ETE Rio Preto - Atual .....	75
Figura 22: Foto da placa de identificação dos motores da EEEB 01 .....	79
Figura 23: Fotografia das instalações dos registradores no soprador 002.....	81
Figura 24: Levantamento das grandezas elétricas do soprador 002 .....	81
Figura 25 – Mapeamento de fluxo da ETE Rio Preto Estado Atual .....	82
Figura 26 – Alteração proposta para o MFVE do stado Futuro .....	89
Figura 27 – Medições da potência elétrica do novo soprador em outubro 2019.....	90

Figura 28 – Medições da potência elétrica do novo soprador em novembro 2019.....	<b>91</b>
Figura 29 – Medições da potência elétrica do novo soprador em dezembro 2019 .....	<b>92</b>
Figura 30 - Consumo de energia por dia - Ponta e fora da ponta.....	<b>93</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo dos eixos de progresso <i>Lean</i> .....	33
Quadro 2 – As práticas de gestão ambiental.....	37
Quadro 3 – Tipo de resíduo e o uso de energia .....	39
Quadro 4: Oportunidades de melhoria na eficiência energética decorrentes da implementação de técnicas de Manufatura <i>Lean</i> .....	40
Quadro 5 – Protocolo da pesquisa .....	61
Quadro 6 – Cadastro dos equipamentos .....	62
Quadro 7 – Categorização das energias utilizadas nos processos .....	63
Quadro 8: Exposição dos passos da MFVE. ....	77
Quadro 9: Cadastro dos equipamentos preenchidos os quais serão levantados os dados. ....	79
Quadro 10 – Categorização das energias utilizadas nos processos dos sopradores.....	88
Quadro 11 – Medições das grandezas físicas do novo soprador .....	89
Quadro 12 – Planificação das notas fiscais da empresa do estudo de campo em 2019 .....	92

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EA – Energia Auxiliar

ED – Energia Direta

EI – Energia Indireta

EPA – *United States Environmental Protection Agency*

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EVSM – *Energy Value Stream Mapping*. Mapeamento de fluxo de energia.

ET – Energia Teórica

LCA - Avaliação do Ciclo de Vida

MEFA – Análise de Fluxo de Material e Energia

MFV – Mapeamento de Fluxo de Valor

MFVE – Mapa de Fluxo de Valor Energético

ISO - *International Organization for Standardization*

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

SciELOS - *Scientific Electronic Library Online*

SST – Sólidos Suspensos Totais

VVLD - Diagrama de Carga de Valor – Valor

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 Contextualização do estudo .....	12
1.2 Problemática .....	17
1.3 Objetivo Geral .....	21
1.3.1 Objetivos Específicos .....	21
1.4 Justificativa.....	21
1.5 Delimitação do estudo .....	23
1.6 Metodologia e Procedimentos Metodológicos .....	23
1.7 Estrutura do trabalho .....	27
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>28</b>
2.1 Revisão sistemática de literatura .....	28
2.2 Estratégia de negócios e adoção da ferramenta de gestão .....	29
2.3 A gestão operacional enxuta ( <i>Lean</i> ) .....	29
2.4 A gestão <i>Lean</i> na indústria de processos contínuos .....	34
2.5 A gestão ambiental ( <i>Green</i> ).....	35
2.6 Integração do <i>Lean</i> com o <i>Green</i> .....	38
2.7 A ferramenta de mapeamento do fluxo de valor de energia.....	46
2.8 Procedimentos para implantação do MFVE.....	55
<b>3. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>58</b>
3.1 Enquadramento da pesquisa .....	58
3.2 Procedimentos operacionais .....	60
3.3 Análise dos dados .....	66
<b>4. A EMPRESA DO ESTUDO DE CAMPO.....</b>	<b>69</b>
4.1 Características construtivas e operacionais da ETE Rio Preto .....	70
<b>5. RESULTADOS E ANÁLISES DOS DADOS .....</b>	<b>76</b>
5. 1 Confirmação do Protocolo.....	77
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>95</b>
6. 1 Identificação dos fatores que influenciam a implantação do MFVE.....	95
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>97</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>99</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nesse estudo, com vistas à melhoria da eficiência energética no processo de produção, aponta-se a necessidade de rever as estratégias dos negócios, para a compreensão das minúcias das ferramentas de gestão. Nesse sentido, visando à otimização dos recursos instalados e em operação, busca-se uma redução dos desperdícios, trasladando para questões ambientais, mais especificamente, para a ferramenta de produção *Lean e Green*, direcionada a melhoria dos processos produtivos.

Nessa perspectiva, o desenvolvimento desse trabalho foi dividido em subseções, iniciando-se pela contextualização do estudo, por meio de um breve relato sobre a melhoria de produção, especificamente com baixo impacto no meio ambiente.

No que se refere à problematização, foram apresentadas as evoluções das ferramentas e estudos, com apontamento das lacunas e necessidades, para maior detalhamento científico nas aplicações.

Isso posto, o objetivo geral foi averiguar a implantação do sistema, para a obtenção de avanços na eficiência energética. Como justificativa, ficam as evidências de vantagens proporcionadas pela utilização da ferramenta de produção. Além disso, esse estudo também versa sobre os limites e possibilidades dessa validação procedimental.

Com relação à metodologia e procedimentos metodológicos, destaca-se a tipologia e coleta de dados.

### 1.1 Contextualização do estudo

Algumas discussões acadêmicas vêm de longa data sem o consenso entre o crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental, pois se coloca, de um lado, a qualidade de vida da população e, de outro, a preservação do meio ambiente, conforme pesquisam Meadows, Meadows e Randers (2012). Para refletir sobre essa dicotomia, torna-se relevante a compreensão do conceito de produção e de meio ambiente e suas correlações, apresentadas até o presente momento.

Nesse contexto, salienta-se que os bens são limitados, e as atitudes proativas por meio de mudanças culturais e institucionais se relacionam com exclusividade a evitar um aumento da ‘pegada’ ecológica da humanidade e da capacidade do planeta de repor os recursos naturais renováveis, para manter o mesmo estilo de vida, conforme declaram Meadows, Meadows e Randers (2012).

Na verdade, o que se verifica é que, atualmente, diante de cenários cada vez mais competitivos, as empresas acabam se valendo de determinadas ferramentas para maximizar a produção, como o *Lean*, mas, ao mesmo tempo, consolidam-se outras delas que buscam a minimização dos impactos ambientais, como o *Green*. Juntos, os dois sistemas formam novos mecanismos que, por sua vez, acabam por facilitar a articulação entre os conceitos de produção e meio ambiente.

Nessa lógica, a proposta desse trabalho se compõe em explicar sobre uma ferramenta de produção, capaz de melhorar a eficiência energética no processo produtivo, de tal forma a minimizar a utilização de recursos, evitando, com isso, funções produtivas indevidas.

Importa destacar que há uma dicotomia entre o crescimento econômico e a proteção ambiental, que se estabeleceu em virtude da falta de preocupação do homem com a natureza, da ausência de visão a longo prazo, da existência de ações antrópicas desprovidas do dimensionamento das suas consequências e dos conceitos relacionados ao crescimento sem cuidados ambientais, conforme dissertam Drews e Van Den Bergh (2016). Tais discussões, por sua vez, conseguiram estabelecer, por meio de ações internacionais, um conjunto de princípios que acarretaram alterações nas legislações ambientais de muitos países.

Nesse aspecto, Maxwell, Pil e Rothenberg (2001) ilustram que as questões ambientais afetam as estratégias das corporações e políticas, em todos os níveis de uma organização, incluindo comércio, produção e negociações que envolvam produtos e meio ambiente. Sendo assim, as preocupações ambientais acabam sendo tradicionalmente modeladas com determinadas restrições, a partir das operações de fabricação.

Diante disso, motivados pelas preocupações ambientais, alguns pesquisadores, ao observarem o comportamento do meio ambiente no início dos anos 70, entrevistaram a ausência de tecnologias que permitissem ao homem controlar o meio a sua volta e explorar os recursos naturais de maneira mais rápida do que a própria natureza era capaz de repô-los.

Nesse encaminhamento, a Organização das Nações Unidas (ONU) promoveu a primeira grande conferência com discussões sobre as preocupações ambientais, na Conferência de Estocolmo, em 1972 e, depois, em 1992, a segunda, no Rio de Janeiro, com o protagonismo da ONU na tratativa sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento.

Em continuidade, dez anos depois, em 2002, ocorreu a terceira grande conferência, em Joanesburgo, momento em que a Comissão para o Desenvolvimento Sustentável (CDS) da ONU recomendou a divulgação dos indicadores ambientais como uma das principais ações de

conscientização. No entanto, ainda que com tais indicadores, observaram-se inúmeras ocorrências de desfavorecimento do meio ambiente.

Essas ocorrências se relacionavam à principal crítica sobre o crescimento da industrialização dos últimos anos, fundamentada no aumento desproporcional dos desperdícios e resíduos nos processos industriais, em especial os resíduos relocados no meio ambiente, que saturam os locais próximos do setor fabril, conforme declaram Chien, Yan e Yang (2016).

Entretanto, não se pode dizer que a minimização de resíduos seja apenas um objetivo ambiental. Outrossim, caracteriza-se principalmente como um programa orientado para aumentar o grau de utilização dos materiais, com vantagens técnicas e econômicas, cuja finalidade é não somente reduzir os desperdícios, mas também aumentar a competitividade, já que a questão dos resíduos afeta todos os produtos, conforme declaram Carlos et al. (2016).

Dessa forma, alude-se à ferramenta *Lean* que, com sua visão sistêmica, visa à redução e eliminação dos desperdícios, por meio de projetos de melhorias contínuas, de modo a possibilitar o aumento da produtividade, dentro do desenvolvimento do processo produtivo.

Nessa ótica, um conceito mais amplo do que somente o controle da geração de resíduos foi proposto pela ferramenta *Lean*, com vistas ao gerenciamento dos desperdícios de tempo, movimentação e superprodução, em busca da obtenção de um melhor aproveitamento produtivo, sem o consumo de maneira excessiva. Porém, embora esse aspecto esteja relacionado ao processo produtivo e ao meio ambiente, essa pesquisa não traz essa abordagem, pois nesse estudo o foco são os desperdícios relacionados aos resíduos e suas ligações diretas com as questões ambientais.

Assim sendo, alguns pesquisadores, como Florida (1996) e Mollenkopf *et al.* (2010), compreenderam que as empresas deveriam combater estrategicamente os desperdícios e também eliminar o surgimentos de resíduos, como parte das atividades de processo industrial. Essa ideia estava em sintonia com o objetivo de proteger o meio ambiente, defendida por Byers *et al.* (1994); Lovins, Lovins e Hawken (1999); Porter e Linde (1995), o que evidencia a semelhança entre o processo produtivo eficiente e a tutela do meio ambiente.

Nessa concepção, Lenox e King (2001) buscaram comprovar, por meio de estudos em 17.449 estabelecimentos de produção nos Estados Unidos da América, durante o período de 1991 a 1996, que a adoção da ferramenta *Lean*, com foco na eliminação dos resíduos, possibilitava maior propensão para adotar o padrão de gerenciamento ambiental *International Organization for Standardization* (ISO) 14000 aos estabelecimentos que adotavam o ISO 9000.

Além disso, esses estudos também puderam demonstrar fortes evidências de que a produção *Lean*, ainda que nas medidas do ISO 9000, possui baixos estoques e consegue proporcionar a redução de resíduos e da poluição.

Nesse encadeamento, Bergmiller e McCright (2009) propuseram que a ferramenta *Lean* pudesse oportunizar a abordagem das questões ambientais inexploradas, com vistas à obtenção de melhorias. Com isso, observou-se uma evolução na referida ferramenta, com foco no desempenho ambiental, não apenas pelo surgimento de normas, resoluções governamentais de proteção ao meio ambiente, mas também porque fornecedores e clientes se tornaram mais exigentes com relação a essas questões.

Desse modo, a ideologia das empresas passou a se harmonizar com o pensamento de Escrivão Filho, Martins e Nagano (2016) de que as práticas empresariais visam a interagir com as mudanças de atitudes e de cultura da organização, para alavancar seus resultados financeiros por meio da melhoria contínua de seus processos e serviços e pela busca simultânea de um melhor desempenho ambiental e econômico.

Dessa forma, as práticas correlacionadas ao meio ambiente, propostas inicialmente como uma estratégia competitiva, consolidaram-se pela redução do desperdício/resíduos e passaram a ser referendadas pelo surgimento de normas e resoluções governamentais que, conforme explica Bergmiller e McCright (2009), geram certificações e eclodem como conceito de ferramenta, quando confirmadas e avaliadas.

Nessa combinação de ideias, a pesquisa de Florida (1996), por exemplo, identificou que 423 empresas norte americanas buscaram inovar seus produtos, melhorando os processos de fabricação. Criaram, inovaram e implementaram novos sistemas e práticas de produção para a época e, durante as inovações, também implementaram medidas de prevenção à poluição e redução das emissões de poluentes. Com isso, melhoraram o processo de fabricação, inibiram o surgimento de desperdício e, ao mesmo tempo, obtiveram melhoria junto ao meio ambiente.

Com essa inovação, as empresas favoreceram a reciclagem, a utilização de produtos menos poluentes, o uso de tecnologias de controle para tratar não somente o resíduo, mas para evitar que ele surgisse. Na verdade, implementaram um conjunto de ações para ajudar a diminuir o impacto ambiental de determinados resíduos, dando-lhes tratamento, o que favoreceu o processo de fabricação nas indústrias de modo geral.

Na referida pesquisa, Florida (1996) também observou, por meio de *Survey*, que as estratégias industriais cooperavam com as ações ambientais. Assim, por meio das entrevistas, detectou que as regulamentações e a cidadania corporativa, assim como o envolvimento dos

trabalhadores nas atividades de produção, poderiam favorecer as atividades relacionadas ao meio ambiente, denominadas, por esse motivo, atividades *Green*.

Nessa linha de evolução, uma grande variedade de conceitos, definições e termos também apareceram, conforme relatam Gavronski *et al.* (2013), entre eles, “Cadeias de Suprimentos Verdes”, “Operações Verdes”, “*Green Design*”, “Logística Reversa Verde”, encontrados nas literaturas de pesquisa relacionadas ao tema do meio ambiente. Srivastava (2007) aprofunda ainda mais esses conceitos e declara que os termos de gestão ambiental e gestão da cadeia de suprimento verde têm as mesmas raízes conceituais.

Resumidamente, Bergmiller e McCright (2009) estudaram o *Lean* e o *Green* separadamente, apontando suas características, e concluíram que os dois sistemas são paralelos por natureza e que, de fato, possuem estruturas e elementos notavelmente semelhantes, como a dependência ao sistema de gestão e à lista ampla de técnicas. Destacaram, ainda, os principais modelos teóricos *Lean* e *Green*, revelando as inegáveis semelhanças entre eles, a saber: dedicação à melhoria da produtividade; redução de custos; melhoria contínua e inovação tecnológica.

Assim, embora essas ferramentas sejam plenamente conhecidas separadamente, sua coexistência possibilita melhores resultados, segundo Fercoq (2014). Na realidade, sua articulação possibilita o aproveitamento do melhor do *Lean* e do melhor do *Green*, na realização de uma determinada tarefa. Com isso, percebe-se que os conceitos e ferramentas do *Lean* facilitam a implantação, transformação e a fixação dos conceitos *Green*, com destaque para a redução de resíduos e a ocorrência de operações sustentáveis.

Em suma, os benefícios gerais obtidos pela nova ferramenta denominada *Lean Green*, não mais *Lean* e *Green* de maneira separada, comprovaram o aumento da produtividade, com a redução da quantidade de energia utilizada no processo industrial, minimizando, assim, o surgimento de resíduos oriundos das matérias-primas e, por conseguinte, os impactos ambientais de produção.

Dessa maneira, com pouco surgimento de resíduos, a necessidade de matérias primas, energia e recursos é menor; então, reforça-se o propósito da produção enxuta, que consiste em mitigar o desperdício, propiciando oportunidades para a integração dos esforços enxutos e para a gestão ambiental, conceitos estudados por Elias e Magalhães (2003) e Saurin, Ribeiro e Marodin (2010), que vislumbraram a conscientização ambiental e as oportunidades de pesquisas relacionadas a esse tema, a partir de um levantamento da implantação da produção enxuta.

Com relação ao processo de produção fabril, é imperativo o conhecimento dos seus elementos para mitigar o desperdício. Considerando que um dos elementos comuns a todos os processos manufatureiros é a energia, na sua plenitude a elétrica, estudos evidenciaram a relação entre os aspectos energéticos e os impactos no meio ambiente.

A energia elétrica é um recurso essencial nas operações produtivas, independentemente do setor ou atividade. Além da configuração econômica do seu uso, que incide nos custos de produção, produtividade etc., o contexto energético no setor produtivo também interpõe os aspectos socioambientais vinculados ao esgotamento de recursos naturais e mudanças climáticas.

Dessa forma, a melhoria da eficiência energética de uma instituição representa benefícios importantes, por meio da racionalização do uso dos recursos energéticos, conforme apontam Fossa e Sgarbi (2018).

## **1.2 Problemática**

A proposta de Dovì *et al.* (2009) buscou identificar o desenvolvimento e as implementações de tecnologias e abordagens de gerenciamento em pesquisas e práticas mais limpas de produções ambientais e de sustentabilidade. Com o tema “Energia para o futuro sustentável”, trouxe uma reflexão para os profissionais da indústria, formuladores de políticas governamentais, pesquisadores e educadores, para estimular o desenvolvimento de novos modelos de melhoria da eficiência energética na sociedade.

Compete destacar que essa melhoria é também uma preocupação da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) que, constituída de 35 países, fornece uma plataforma de comparação de políticas econômicas e solução de problemas comuns, além de estimular o desenvolvimento de indicadores e orientar e monitorar políticas de melhoria da eficiência energética nos mais diversificados ramos de atividades (OCDE, 2002).

Nesse sentido, pesquisas nessa área sugerem a implementação de tecnologias e métodos de gestão nos processos de produção, cujas intenções são minimizar os desperdícios e reduções de resíduos, a partir de uma melhora na gestão dos recursos, com vistas à implantação de sociedades mais atuantes nos aspectos socioambientais, conforme realça Dovì *et al.* (2009).

Esse direcionamento se deve ao fato de que a maioria das instalações nas fábricas não são operadas a uma alta taxa de eficiência, havendo assim várias oportunidades para se

desenvolver um processo mais eficiente, conforme relatam Jeswiet e O’Rielly (2014) em seus estudos. Esses autores ainda declaram que uma das possíveis ferramentas para identificar essas oportunidades seria o mapeamento do fluxo de valor (MFV).

O mapeamento do fluxo de valor (MFV) é uma ferramenta gráfica do *Lean*, que utiliza um conjunto predefinido de ícones, cujo objetivo é visualizar e buscar a compreensão do processo fabril, da entrega da matéria prima até a entrega do produto ao cliente, conforme atestam Rother e Shook (2003). Esse mapeamento auxilia na visão holística do processo e padroniza a comunicação dos envolvidos no trabalho.

Nesse visão, Asan, Kayakutlu e Keskin (2013) sugerem que a ideia de usar mapas de fluxo de valor para melhorias na eficiência energética propicia oportunidades de aplicação em diferentes pontos das instalações. Segundo esses autores, a transformação do MFV para o MFVE (mapeamento do fluxo de valor de energia) pode melhorar a eficiência no uso da energia, em empresas de manufatura de pequeno e médio porte; entretanto, não mencionam como esse mapeamento deveria ser feito.

Ainda nesse contexto, Bush *et al.* (2014) investigam a metodologia *Lean* para manufatura com eficiência energética, que permite às futuras fábricas identificar a energia de valor agregado, abrindo caminho, dessa forma, para atividades de redução das ineficiências e desperdícios. Essa proposta foi testada com sucesso em uma fábrica; todavia, observou-se a sua limitação a apenas um tipo de produção, pois a metodologia divide o processo em fases, como a transformação, distribuição e utilização, que são intimamente relacionadas e, portanto, difíceis de serem separadas.

Em harmonia a essa abordagem, Müller, Stock, Schillig (2014) sugerem utilizar o MFV como MFVE, correlacionando o uso energético aos processos de transporte e medições do tempo, mantendo o conceito original do MFV e sua lógica interna, mas também não detalham como seria feito o referido mapeamento.

No mesmo tratamento, Chatterjee, Sharma, Mukherjee (2014) estudam o uso do MFVE como uma ferramenta para analisar o consumo energético de todo o processo de fabricação de biodiesel, mas, da mesma forma, também não detalham como isso se daria. Além disso, esses autores relataram pela primeira vez o uso do MFVE como uma ferramenta para analisar o consumo de energia em qualquer processo de fabricação.

Nesse panorama, Garza-Reyes (2015) argumenta sobre a escassez de pesquisas relacionadas às ferramentas *Lean* e *Green* no nível das empresas, especificamente no desenvolvimento de métodos de medição, ou de modelos para processos específicos nas indústrias.

No entanto, é importante notar que estudos de Edtmayr, Sihm e Sunk (2016) afirmam que as abordagens descritas na literatura relacionadas à relação entre negócios de sustentabilidade e fluxo de valor existem apenas superficialmente, e sem consideração detalhada de uso e ciclo de recursos.

Nessa tendência, há autores, cujas propostas buscam associar a energia e o fluxo de materiais, como Davies e Van der Merwe (2016), que apontam um quadro com as oportunidades da melhoria da eficiência energética, decorrentes da aplicação de técnicas de fabricação enxuta, e um fluxograma de materiais no processo de tomada de decisão, construído para estabelecer as novas categorias de resíduos de água e energia enxutas; entretanto, também não apontam métricas na obtenção de sucesso.

Na mesma lógica, Li *et al.* (2016), na sua proposta de análise de energia, materiais e do fluxo do tempo, fazem testes em uma usina de reciclagem de alumínio de grande porte, na Austrália, apontando três metodologias diferentes, a FEMA, LCA e Diagramas de Sankey, e obtêm um conjunto de reduções no uso de materiais e melhora no tempo de produção, em diversos setores.

Assim, apesar das lacunas remanescentes dos estudos anteriores quanto ao detalhamento de como fazer o mapeamento de energia, os estudos de Guardia, Haddad e Marques (2007) explicam que o fundamental é obter, além do pleno conhecimento e diagnóstico da realidade energética da empresa, as prioridades e implantações nos projetos de melhoria e redução de perdas, antes de realizar qualquer atividade relacionada à gestão energética.

Diante de todo o exposto, destaca-se, então, a existência de uma lacuna científica na aplicabilidade do MFVE, no sentido de identificar os fatores que o influenciam, a obtenção dos registros de grandezas elétricas e a validação da ferramenta.

Sabe-se que uma característica básica do MFVE é sua aplicabilidade em qualquer processo produtivo, seja por batelada, ou processo contínuo, indiferente da rigidez do controle do processo, ou alto investimento em capitais. Sendo assim, o estudo dessa pesquisa se vincula a uma empresa de saneamento básico, de produção tipicamente contínua, que se caracteriza por possuir gastos com energia elétrica na ordem de 9 a 24 % , conforme destaca a SANEPAR (2017).

Cumprе ressaltar que um estudo elaborado por Moura (2010) aponta que as companhias estaduais de saneamento do Brasil representam em média 17,4 % das despesas de exploração, com um consumo energético por m<sup>3</sup> tratados, entre os anos de 2003 e 2007, de 0,717 Kwh/m<sup>3</sup>.

Dessa forma, valida-se um estudo vinculado a uma empresa de saneamento básico, principalmente pelo que colocam Bongards *et al.* (2016) a respeito de que, na ausência de uma abordagem fundamental e globalmente reconhecida, que avalie o desempenho energético da estação de tratamento de águas residuais, o diagnóstico da energia continua a ser um problema não resolvido.

Tais autores realizaram uma pesquisa em mais de 600 unidades de Estação de Tratamento de Águas Residuais, por meio da qual um grande conjunto de dados de consumo de energia, juntamente com os métodos para sintetizar a informação foram apresentados e discutidos, e se verificou que nenhum indicador chave de desempenho utilizado para caracterizar o desempenho energético pode ser usado universalmente, pois existem efeitos sobre esses indicadores, como o tamanho da planta, fator de diluição e vazão, que alteram os valores.

Importa ressaltar que as unidades de tratamento envolvidas na pesquisa supracitada utilizavam várias tecnologias, com separação dos resíduos principalmente em tanques aerados, biodiscos, lodo ativado convencional, aeração prolongada, vala de oxidação, reator sequencial em batelada e filtro biológico.

Isso posto, como as concentrações de poluentes no afluente (sólidos, matéria orgânica) não variam significativamente entre as Estações de Tratamento de Águas Residuais, e as qualidades dos efluentes também são semelhantes, a aplicação das abordagens que não consideram o MFVE se tornam restritas. Além disso, o efeito da chuva dilui a concentração do esgoto, e isso também interfere no tratamento. Por esse motivo, essa pesquisa optou por medir os valores das grandezas química e elétrica e auditá-los após a aplicação do MFVE.

Dessa forma, considerando-se a utilização da energia em um processo de saneamento, especificamente no tratamento de esgoto, e a dicotomia entre a qualidade de vida da população e a sustentabilidade ambiental, esse estudo se norteia a partir das seguintes questões :

- (1) Como a implantação do mapeamento de fluxo energético (MFVE) em um tratamento de esgoto poderá possibilitar a melhora na eficiência energética desse processo?
- (2) A implantação do mapeamento de fluxo energético (MFVE) em um tratamento de esgoto poderá contribuir para alterar a inexistência de “detalhamento” da aplicação de MFVE?

### 1.3 Objetivo Geral

Constatar se a implantação de sistema de mapeamento de fluxo energético (MFVE), em um tratamento de esgoto, possibilitará a melhoria na eficiência energética.

#### 1.3.1 Objetivos Específicos

- a) Identificar os fatores que influenciam a implantação do MFVE;
- b) Validar procedimentos de obtenção da eficiência energética na implantação do MFVE;
- c) Registrar os procedimentos de implantação, para verificar se suprem as lacunas existentes;

### 1.4 Justificativa

A Agência Internacional de Energia (IEA), na sua edição de 2017, apontou várias sugestões para minimizar a variação da temperatura global para níveis abaixo de dois graus Celsius, uma ação promissora, que consiste em melhorar a eficiência energética nas empresas industriais, conforme descreve Sobottka *et al.* (2018), e está em sintonia com a justificativa dessa pesquisa.

Além disso, vários estudos foram realizados na busca de melhorias da eficiência energética, a partir de diferentes propostas. No que se refere ao item “produto”, por exemplo, destacam-se os trabalhos recentes de Badurdeen e Huang (2018) e Jeon *et al.* (2014); quando se fala em “maquinários”, há Mousavi *et al.* (2016), e em “produção e processo”, Prasetiyo (2018).

Dito isso, o estudo de campo proposto nessa pesquisa teve um olhar para o processo de produção, aplicação dos conceitos e ferramentas da engenharia de produção, e tentou contribuir com o foco no processo, em produção contínua, no ramo de saneamento básico, para buscar a obtenção de melhorias na eficiência energética de produção, especialmente por meio da redução de desperdícios.

Com isso, foram obtidas melhorias no processo como um todo, e sem interferência na eficiência energética do processo seguinte, ou antecessor. Assim, o apontamento da ferramenta MFVE corrigiu a eficiência energética de cada setor da produção, e os resultados obtidos possibilitaram a redução dos custos a serem pagos para as concessionárias de energia

elétrica. No caso, os benefícios foram apontados diretamente à empresa pesquisada, possibilitando a melhoria da eficiência energética e, conseqüentemente, a redução dos seus custos por volume de esgoto tratado.

Releva-se que um dos elementos essenciais na produção é a eletricidade e, de forma geral, os procedimentos aplicados no Brasil carecem de mais estudos, para postergar investimentos na capacidade instalada na geração, transmissão e distribuição, conforme publicaram Forcellini e Hedlunda (2018). Nessa óptica, Ferreira et al. (2015) ensinam que no caso de processos técnicos baseados em conhecimentos e combinações entre diferentes escolas tecnológicas, a utilização da MFVE pode proporcionar melhoria em diversos setores, em especial o energético.

Nessa perspectiva, constata-se que, nos últimos 12 anos, o consumo de energia pela indústria aumentou cerca de 40%, um consumo de cerca de 34% da energia produzida no Brasil, como afirma a Empresa de Pesquisa Energética (EPE – 2017). Isso se deve ao fato de que, devido ao crescimento da população brasileira, o consumo de energia tem aumentado, com inúmeras propostas de soluções para a sua redução, seja na modalidade doméstica ou industrial. Como a demanda de oferta de energia não cresce na mesma proporção em que a população, há um déficit na oferta a longo prazo.

Assim, apesar da obtenção de resultados não se apresentar favorável à expectativa de uma redução expressiva, estudos voltados ao aumento da eficiência energética contribuem para o adiamento de investimento público no setor elétrico. Dessa forma, a busca mundial por melhores técnicas para o aumento da eficiência energética, seja por meio do desenvolvimento de melhores equipamentos, ou de avaliação das técnicas dos processos de produção, origina diversas vertentes relacionadas à melhoria natural da eficiência energética.

No que tange às indústrias de transformações, Cosgrove, Duarte e Hardiman (2015) afirmam que elas são as maiores responsáveis pelos impactos ambientais em suas atividades, sendo que muitas delas têm como estímulo a redução de energia durante o processo de fabricação, e delineiam, juntamente com a classificação do uso de energia e sua relação com processos produtivos e resultados de produção, o fluxo de energia dentro das instalações.

Nessa panorama, os estudiosos reiteram que esses procedimentos, quando realizados com o MFVE, proporcionam uma visão holística da empresa, e abrangem os diversos aspectos do processo fabril, não somente os envolvidos na produção e na energia consumida, mas também aqueles relacionados às intervenções de redução do consumo de energia elétrica, com a manutenção dos mesmos índices de produtividade.

Sendo assim, a pesquisa ora apresentada, visa a contribuir, de maneira geral, com futuros estudos relacionados à aplicação teórica e prática da ferramenta *Lean Green* no saneamento básico, ainda desprovida de literatura. Nesse sentido, buscou desenvolver a análise em toda a empresa, com a proposta de melhorias nas demais operações da produção, principalmente nos setores em que mais se consome energia, com apontamento dos possíveis pontos de redução.

### **1.5 Delimitação do estudo**

O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) é uma das melhores ferramentas para mapear um processo e identificar seus principais pontos críticos. Porém, o MFV pode ser efetivamente aplicado apenas a sistemas lineares. Assim, quando o processo de fabricação é complexo, com fluxos envolvidos uns aos outros, incluindo os produtos já produzidos, o MFV não pode ser usado diretamente, como afirmam Braglia, Carmignani e Zammori (2006).

De acordo com tais autores, o MFV é uma técnica baseada em papel e lápis; portanto, seu nível de precisão é limitado, e o número de versões que podem ser manuseadas pela gestão operacional é baixo. Além disso, em ambientes reais, como os de uma empresa de alta variedade de produto e baixo volume de produção, existem muitos itens a serem mapeados, centenas de peças e produtos industriais, o que representa muita dificuldade na execução do MFV. O MFVE, por sua vez, também apresenta essa limitação.

Além disso, Lu, Yang e Wang (2011) estudaram outros limites, relacionados a localizar um processo de produção que utiliza o processo contínuo, com respeito aos seus produtos e características do equilíbrio das operações discretas e contínuas, também considerados nesse estudo.

### **1.6 Metodologia e Procedimentos Metodológicos**

Essa pesquisa elaborou uma análise experimental de campo, por pretender apresentar resultados variáveis, independentes das intervenções do pesquisador. Entretanto, diferencia-se de uma pesquisa-ação, por possibilitar resultados que não apresentarão ações diretas, ou interposições do autor.

As definições da classificação do estudo, conforme demonstrado na figura 1, apresentada na sequência, propõe um esquema teórico do planejamento do estudo de campo realizado, de forma integrada, com vistas a assegurar a validação da pesquisa.

A apresentação dos itens da classificação, conforme estabelecidos, foi obtida pela compilação de alguns autores, entre eles Antunes *et al.* (2011), Yin (2001) e Eisenhardt (1989), que também tratam dos aspectos aqui analisados, como a abordagem da pesquisa, o propósito, tipologia, coleta e análise de dados, além da natureza do estudo.

Com relação à abordagem, importa ressaltar que serão considerados os avanços possíveis com a realização dessa pesquisa, tendo em vista que a metodologia utilizada poderá ser aplicada em qualquer ramo de atividade produtiva, tendo como foco o processo produtivo e não necessariamente a planta das instalações.

No que diz respeito ao propósito da pesquisa, ressalta-se que se pretende observar as lacunas apresentadas pelos estudos relacionados à aplicação da ferramenta *Lean Green*, bem como as formas de realizar o procedimento de maneira adequada a se obter maior redução dos resíduos/desperdícios.

Com relação à tipologia de dados, destaca-se que foi obtida a partir dos valores angariados com a leitura realizada pelos equipamentos de medição das grandezas elétricas envolvidos no processo, como motores de iluminação, por exemplo. Na sequência, foram convertidos em gráficos.

Quanto à coleta de dados, foram consideradas as informações pertinentes ao estudo, obtidas por meio de um medidor de grandezas elétricas pré-programado, que converteu os valores em registro de valores de memória, em um intervalo de 1 a 5 minutos, armazenando-os em um banco específico para tanto, no próprio equipamento. Dessa forma, os dados obtidos puderam ser materializados, e as informações, ao serem recuperadas, foram tratadas a partir de planilhas, facilitando a compreensão do trabalho realizado.

Após o momento da coleta, a análise possibilitou completar um conjunto de fatos e causas associadas ao emprego de metodologia quantitativa, com uma visão dinâmica da natureza da realidade, tendo como focos a economia de energia elétrica e o processo, de maneira a não prejudicar a eficiência processual dos efluentes.

Importa ressaltar que houve o estabelecimento da quantidade de dados no momento de sua obtenção, com equipamento ligado diretamente aos quadros de acionamento dos motores, iluminação e demais cargas elétricas, separados individualmente.

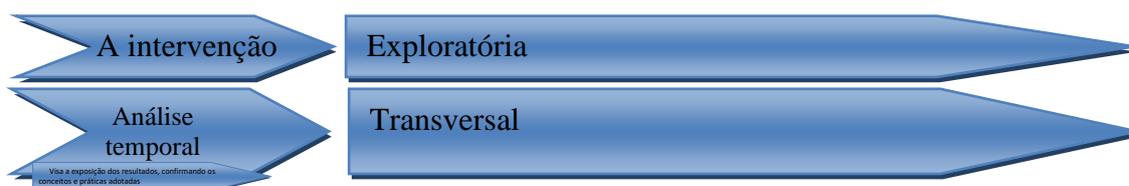
No que tange à natureza, o estudo foi de natureza aplicada, na concepção de Gil (1999), pois se verificou sua aplicabilidade enquanto ele foi sendo realizado, e, também, objetivou-se gerar conhecimentos para aplicação prática, voltados à solução de problemas específicos – obtenção de eficiência energética com a utilização do MFVE.

Nessa concepção, a pesquisa envolveu verdades e interesse locais, na forma de intervenção exploratória, indicada para temas pouco explorados, e proporcionou maior familiaridade com o problema, solidificando os conceitos e ideias, como propõe Gil (1999).

Abaixo, segue a classificação do estudo, representada pela figura 1:

Figura 1 – Classificação do estudo

Método de Pesquisa	Estudo de Campo
Aspecto Analisado	Observação direta, construção de banco de dados, exposição dos resultados, confirmação dos conceitos
Abordagem	Análise da eficiência energética, por meio dos estudos no processo fabril.
Propósito	Ratificar as formas do procedimento, para obter a redução dos resíduos/desperdícios, e testar.
Objeto de pesquisa	Empresa de saneamento básico, no setor de tratamento de esgoto
Tipologia dos dados	Qualitativos e quantitativos
Coleta de Dados	Análise dos processos e mapeamento
Análise dos dados	Interpretação dos dados obtidos e reflexões com base no MFVE
Obtenção dos dados	Em todos os equipamentos do processo, com medidores de grandezas elétricas e banco de dados
Instrumento de coleta de dados	Observação, documentos, medição com medidores portáteis de grandezas elétricas.
Qualidade e validade da pesquisa	Comprovação direta da metodologia aplicada, com possibilidade de aplicação em qualquer processo fabril.
Natureza	Aplicada
Quantidade de coleta de dados	Intencional, com todas as grandezas elétricas, em intervalos de 1 a 5 minutos, por 24 horas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Posto isso, ressalta-se que os meios de investigação foram de uma pesquisa de campo intervencionista, que inclui a aplicação de observação participante do pesquisador, na realidade da situação determinada, de modo natural, já que vinculado à empresa estudada (GIL, 1999). Tal fato facilitou o acesso aos dados, coletados por meio de fonte de medidores de grandezas elétricas e de forma híbrida, ou seja, quantitativa, para mensurar a redução, ou não, e qualitativa, para gerar reflexão sobre a melhor atuação para se obter a redução.

Cumprido salientar que os procedimentos operacionais do tratamento de esgoto em foco nessa pesquisa já possuíam seu regramento de trabalho, encontrando-se em operação há mais de dez anos, e monitoram a eficiência do tratamento pela medição de grandezas químicas do esgoto.

Nessa condição, os Sólidos Suspensos Totais (SST) englobam tanto o material orgânico como o inorgânico; a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO), a quantidade de oxigênio requerida para oxidar a fração orgânica de uma mostra de água, suscetível à oxidação por um oxidante químico forte em médio ácido, com medições obtidas no laboratório local, certificadas pela NBR 17025/2017.

Ademais, a vazão de bombeada de esgoto pode ser entendida como a quantidade volumétrica que passa por uma determinada seção de conduto, em uma unidade de tempo, utilizando-se uma calha *Parshall*. A calha *Parshall* força um escoamento subcrítico a se tornar supercrítico, por meio de um estrangulamento na seção transversal, e posterior rebaixamento da soleira, com a principal vantagem da utilização da leitura apenas do nível de fluido para a determinação do montante da vazão, conforme a norma NBR/ISO 9826:2008. Com isso, obtém-se a vazão do esgoto, por equipamento de medição de nível eletrônico.

Na sequência, a areia removida do esgoto é direcionada por gravidade aos reatores de fluxo ascendentes, tanque de aeração, com injeção de ar comprimido, recalque do esgoto para segunda vez ao tanque, aumentando, assim, o tempo de exposição ao fluxo de ar comprimido. A finalização se dá com o processo de separação da fase sólida da líquida, que é relocada no Rio Preto, seguindo seu fluxo natural. Importa dizer que os procedimentos de medição das grandezas químicas não se alteraram e foram elaborados durante toda a pesquisa.

## 1.7 Estrutura do trabalho

Esse trabalho está estruturado em cinco seções, consideradas como segue descrito.

Na primeira seção está a introdução, que apresenta a contextualização do estudo, problemática e justificativa, elementos considerados de base para a elaboração da dissertação, apoiados em uma visão holística sobre a importância do tema estudado e suas limitações.

Na segunda, encontra-se a fundamentação teórica sobre os trabalhos na manufatura *Lean* e *Green*, seus conceitos básicos, funções e classificações, a ferramenta MFVE e suas limitações, além de algumas evoluções, considerando a atualidade dos dados.

A terceira seção apresenta o método de pesquisa, com a caracterização do problema, suas unidades de análise, validação da pesquisa, protocolo de coleta de dados com seus anexos e a elaboração do Mapa de Fluxo de Valor Energético atual e Mapa de Fluxo de Valor Energético Futuro.

Na quarta seção ocorre a apresentação da empresa de saneamento, as sugestões de aplicação da ferramenta MFVE e sua validação, para se obter a comprovação da eficiência energética, com a implantação MFVE em estação de tratamento de esgoto.

A quinta e última seção traz as possibilidades de resultados esperados, bem como a descrição das aplicações relativas aos conceitos estudados, além das vantagens competitivas à empresa que aplicar o mapeamento de fluxo energético (MFVE), caracterizando-se como conclusão da pesquisa.

Por fim, na sequência, seguem a conclusão e as considerações gerais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa parte do estudo, a proposta é apresentar alguns trabalhos realizados na área, com base científica, destacando-se as principais linhas de investigação, as mais recentes publicações e, também, os autores clássicos.

Nessa visão, busca- tornar a revisão bibliográfica mais precisa e contribuir para com o processo de investigação com as principais ideias e relações, para construir um entendimento dos conceitos a serem pesquisados.

Dessa forma, ressaltam-se os conceitos do *Lean* isoladamente, posteriormente do *Green*, passando na sequência para a integração entre ambos. Nesse contexto, apresenta-se também a principal ferramenta utilizada na união dessas duas concepções, que é o mapeamento do fluxo de valor (MFV), com foco no desperdício da energia elétrica.

### 2.1 Revisão sistemática de literatura

A busca por artigos científicos se iniciou pelas fontes primárias, como o *Google Acadêmico*, SciELO e BIBENG. Esses sítios disponibilizaram artigos matrizes, obtidos por meio da busca pelas palavras-chaves da presente pesquisa. Foram utilizados os conectores **and**, **or** e **not**, junto a tais palavras, sendo os dois primeiros relacionados ao acréscimo de artigos, e o último, à restrição.

Nessas buscas, foram considerados critérios iniciais para inclusão, ou exclusão dos artigos a serem consultados, explicitados conforme segue descrito:

- Inclusão:

- artigos publicados e disponíveis integralmente em bases de dados científicos, ou em versões impressas;
- trabalhos recentes (publicados a partir de 2013), que já possuem aprovação pela comunidade científica, ou trabalhos de autores clássicos da área;
- trabalhos com abordagem de métodos de avaliação de ambientes virtuais.

- Exclusão:

- Trabalhos que não apresentam o método utilizado, no corpo do texto.

Assim, para a base de dados eletrônica “*Google Acadêmico*”, utilizou-se a chave “*Lean and Green and VSME not VSM*”, obtendo-se 224 resultados como resposta. Com a utilização de um filtro datado de 2013 a 2020, extraíram-se cerca de 170 resultados. Nesse

caso, como também é possível o referido assunto estar envolvido com a cadeia de suprimentos, as palavras-chaves foram alteradas para “*Lean and Green and VSME not VSM not Cadeia*”, o que reduziu o resultado para 9 artigos.

Na sequência, na base de dados eletrônica SciELO, foram obtidos cinco resultados na busca realizada com as palavras-chaves “*Lean and Green*”, número coincidente com a busca na BIBENG, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com as mesmas palavras-chaves.

Assim, após a análise crítica dos artigos obtidos, foram selecionados inicialmente os autores Freitas *et al.* (2013); Asan, Kayakutlu e Keskin (2013); Drechsel *et al.* (2013); Alvandi *et al.* (2014); Bush *et al.* (2014); Müller, Schillig e Stock (2014); Fischer, Herrmann e Veinert (2015); Davies e Van Der Merwe (2016); Drovitar, Melsas e Rosin (2016); Sharma e Verma (2016); e Choudhary *et al.* (2019) e suas respectivas citações, por outros estudiosos, nos demais artigos que responderam ao questionamento realizado pela revisão sistemática (RS), totalizando o número de 97 trabalhos .pertinentes ao estudo do tema dessa pesquisa.

Nesse direcionamento, a partir dessa busca inicial, partiu-se para as fontes secundárias, referenciadas pelas fontes primárias.

## **2.2 Estratégia de negócios e adoção da ferramenta de gestão**

O pesquisador Añez (2013) observou uma mudança de paradigmas na evolução dos conceitos do processo de globalização e internacionalização das empresas, que buscam obter ferramentas de gestão para minimizar os impactos ambientais, adequando-se assim às novas exigências do mercado.

Nessa lógica, conforme destaca a pesquisa de Fercop (2014), a estratégia de gestão *Lean* se caracteriza pela busca da melhoria contínua de produtos e processos, com um modelo de negócio que se concentra na identificação e eliminação dos resíduos de um processo sistemático.

## **2.3 A gestão operacional enxuta (*Lean*)**

O pensamento Enxuto foi transmitido inicialmente para todo o mundo por Jones, Roos e Womack (1990), no livro “A máquina que mudou o mundo”. O novo modelo de gestão industrial apresentado pelos autores é baseado no Sistema Toyota de Produção (*Toyota*

*Production System*), desenvolvido pela família Toyota, após a Segunda Guerra Mundial, para refazer a economia japonesa destruída pela guerra.

A obra citada acima já traz o conceito de “muda”, termo japonês para “desperdício”, seja esse identificado nos esforços, nos materiais, ou no tempo. Esse termo também é detalhado por Ohno (1996), que define desperdício como sendo todas as atividades que adicionam custo, mas não agregam valor, e seu trabalho descreve inclusive os sete principais tipos de “muda”.

Nessa perspectiva, em uma empresa *Lean*, esses sete tipos de “muda” são objetos de uma perseguição sem fim, pela sua eliminação, em atividades, como a produção em excesso, transporte desnecessário, ou excessivo, movimento de pessoas à procura de ferramentas, peças, produtos, etc., reparo em máquinas e geração de defeitos que, por consequência, gera retrabalho, correção, ou até a falta de peças.

Dito isso, entende-se o fundamento do pensamento *Lean* que, segundo Womack e Jones (1996), busca observar o produto e sua cadeia de valor, além de identificar as atividades com e sem valor agregado e minimizar ou eliminar todas as perdas ou desperdícios, em todas os setores e operações do sistema.

Destarte, a partir dessa ideia de minimizar e/ou eliminar os desperdícios, Rother e Shook (2003) apresentam o Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV), que consiste em uma representação visual de todas as ações (que agregam valor, ou não), de modo a compreender fluxo completo de um produto, desde a entrada da matéria-prima até a entrega ao consumidor. Assim, o MFV é uma ferramenta que ajuda a enxergar, por meio de desenhos, fluxogramas, ícones e setas, os caminhos dos materiais na produção.

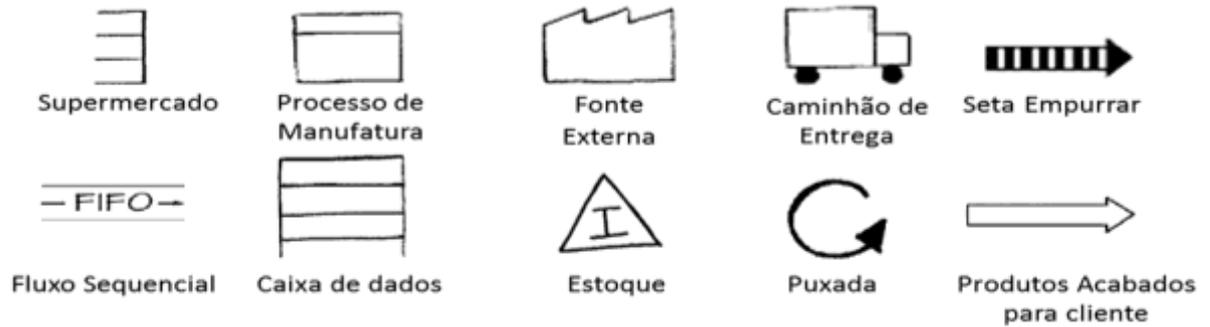
Outrossim, o MFV agrega informações pertinentes ao processo, para o fornecimento do produto ao cliente e, dentre essas informações, pode-se destacar a do volume, tempo de produção, distância do estoque à bancada de trabalho, quantidade produzida, quantidade de não conformidades; enfim, todas as informações relevantes ao processo de produção.

Com isso, pode-se dizer que essa ferramenta facilita a visualização do fluxo de produção, conseguindo identificar eventuais desperdícios no fluxo de valor, com a utilização de uma linguagem comum ao processo de produção, de forma que todos os envolvidos possam participar das discussões para melhorias e redução de desperdícios.

Nesse sentido, trata-se de um instrumento qualitativo, por meio do qual o grupo responsável pela produção detalha como a unidade produtiva deve operar para maximizar a inclusão de valores ao produto, revelando o caminho para a obtenção de melhorias no processo.

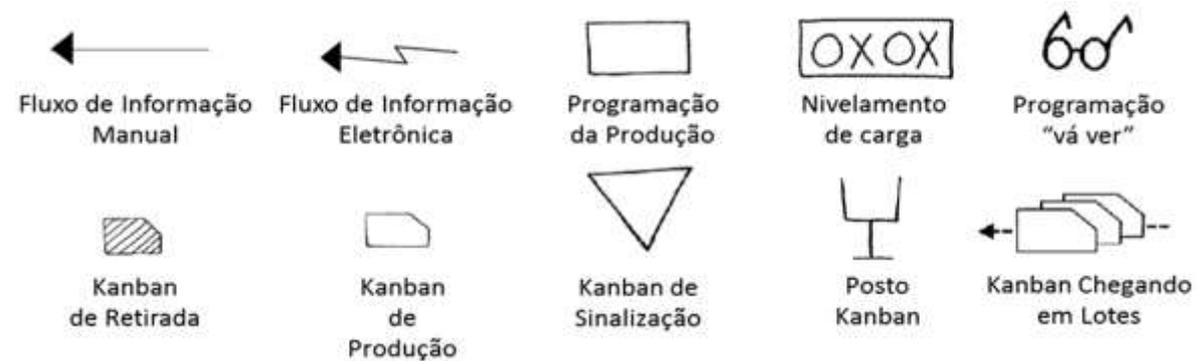
Em seu livro “Aprendendo a Enxegar”, Rother e Shook (2003) apresentam o passo a passo para a elaboração do MFV e propõem símbolos (ícones) para serem utilizados na representação gráfica de elementos do mapa. As figuras 2 e 3, como seguem, trazem alguns dos símbolos mais utilizados para representar tanto o fluxo de matérias, quanto o de informação.

Figura 2: Ícones do fluxo de Materiais



Fonte: Rother e Shook (2003, p. 57 ).

Figura 3: Ícone do fluxo de Informações



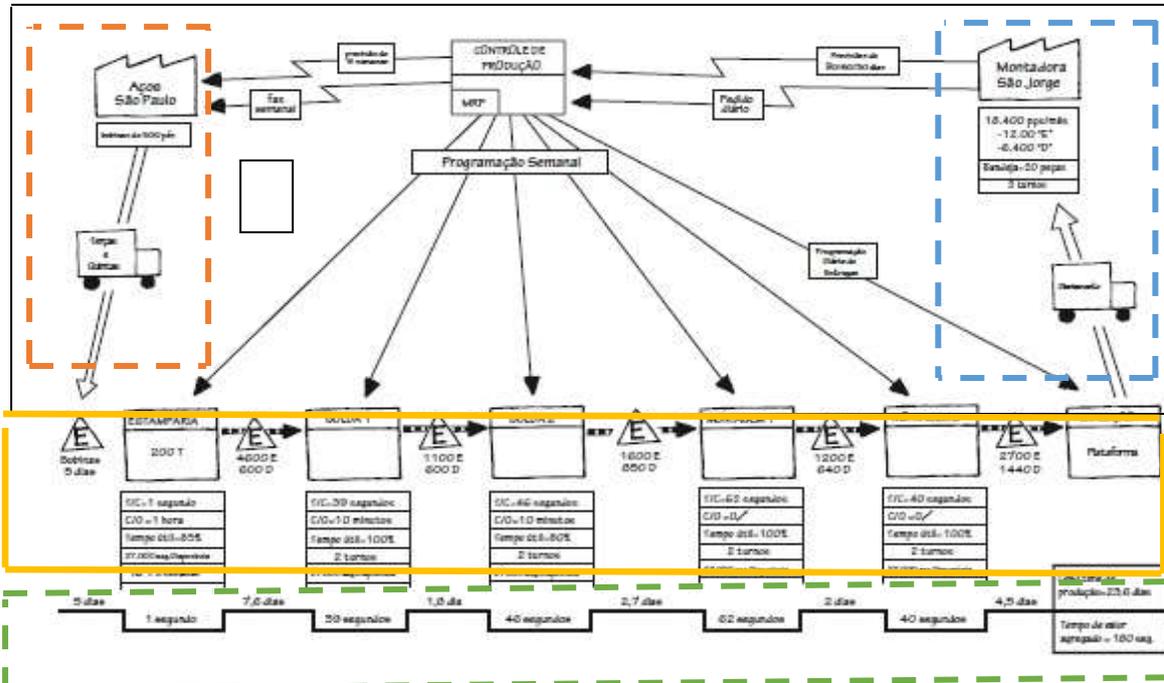
Fonte: Rother e Shook (2003, p. 35).

A próxima figura, de número 4, mostra um exemplo do MFV, retirado do mesmo livro citado anteriormente e, no caso, nota-se que o fluxo de material, da matéria-prima ao produto final, é indicado a partir de um sequência de caixas, que representam os processos de manufatura. Os estoques apresentados indicam os locais de interrupção do fluxo de produção.

Nesse mapa, as caixas são ligadas por setas, que indicam uma programação empurrada. Esse método de programação da produção pode ser otimizado, a partir do uso de kanbans e da aplicação do método de programação puxada. Por fim, na porção inferior do mapa (quadro tracejado), Rother e Shook (2003) propuseram a construção de uma linha de tempo, indicando os tempos de agregação de valor (linhas mais baixas), e os tempos de não

agregação de valor (linhas mais altas). O somatório de tais tempos resultam respectivamente no chamado tempo de agregação total de valor (TAV) e no *lead time* de produção.

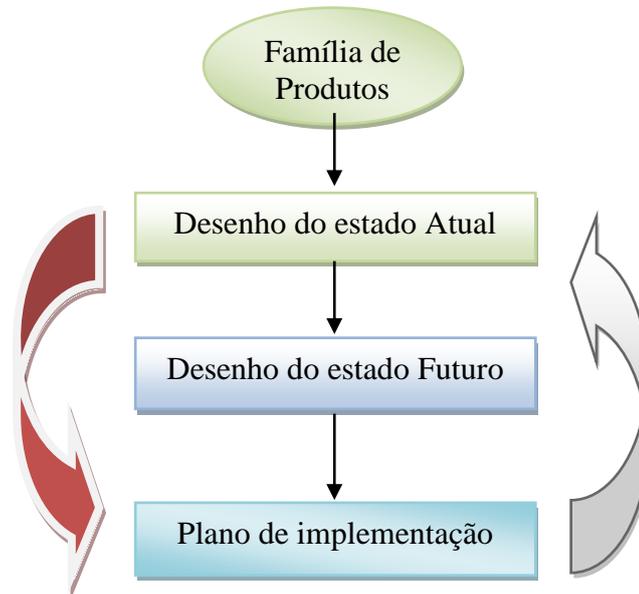
Figura 4: Mapa de Fluxo de Valor (MFV)



Fonte: Disponível em: [https://www.lean.org.br/conceitos/72/mapeamento-do-fluxo-de-valor-\(vsm\)---estado-atual-e-futuro.aspx](https://www.lean.org.br/conceitos/72/mapeamento-do-fluxo-de-valor-(vsm)---estado-atual-e-futuro.aspx). Acesso em: 20.jun. 2020 (adaptado).

No que se refere à aplicação do MFV nos processos de manufatura, Rother e Shook (2003) definiram a sequência de etapas ilustrada na Figura 5:

Figura 5 – Etapas de aplicação do mapa de fluxo de valor (MFV)



Fonte: Rother e Shook (2003, p. 17).

Como se vê, a gestão do *Lean* não é apenas uma tática de produção, ou um programa de redução de custos, conforme atesta Stenzel (2008). Representa uma estratégia de negócio real, que interage com todas as áreas da empresa (produtiva e não produtiva): produção, desenvolvimento de novos produtos, cadeia logística (processo de gestão de fornecedores e clientes) e processo administrativo.

Assim, de acordo com Pettersen (2009), é importante a adaptação desse conceito às necessidades da organização. Juntamente com Hines, Holweg e Rick (2004), o autor conclui que a ferramenta *Lean* está em constante evolução e ainda apresenta um resumo dos eixos dos progressos *Lean*, no Quadro 1, apresentado na sequência do texto.

Em contrapartida, Cetnarski *et al.* (2016) concluíram que, mesmo aplicando algumas ferramentas pertencentes aos princípios *Lean*, não é fácil transformar toda uma empresa em enxuta. Para que isso ocorra, Bhasin, Burcher (2006) e Wilson (2010) evocam a necessidade da condução de uma mudança cultural dentro da organização.

Quadro 1 – Resumo dos eixos de progresso *Lean*

Progresso nas áreas	Caracterização
Práticas <i>Just in Time</i>	Nivelamento de Produção (heijunka) Sistema indicação do fluxo (kanban) Ritmo de produção (takt) Processo de produção sincronizado
Redução na utilização de recursos	Produção de pequenos lotes Eliminação das perdas Tempos de troca de produção reduzidos Redução do volume de estoques
Gestão de recursos humanos	Organização da equipe Partilha de conhecimentos e experiências Envolvimento de pessoas
Estratégias para qualidade	Círculos de qualidade Melhoria contínua (Kaizen) Análise de causa raiz (5 porquês)
Controle de defeitos	Autonomação (jidoka) Prevenção de erros (Poka Yoke) Gestão à vista de ocorrências e resultados do local do trabalho, apresentada em quadro, ou sinalizadores sonoros, ou visuais (andon)
Gestão da cadeia de abastecimento	Mapeamento da cadeia de valor (mapeamento do fluxo de valor) Envolvimento de fornecedores
Normalização	Padronização de tarefas (5S) Gestão Visual
Organização com trabalho "científico"	Estudos de tempos Ergonomia nas estações de trabalho Produção em ilhas
Várias técnicas	Controle Estatístico de Processos (CEP) TPM / Manutenção Preventiva

Fonte: Pettersen (2009, p.289).

## 2.4 A gestão *Lean* na indústria de processos contínuos

Esse trabalho busca soluções de aumento da eficiência energética em uma estação de tratamento de esgoto, que é caracterizada por um processo de manufatura contínua, o que difere um pouco do panorama da manufatura discreta, na qual as principais ferramentas do Sistema Toyota de Produção foram cunhadas. Assim, essa seção pretende apresentar trabalhos científicos que discutem exatamente as dificuldades e adaptações da aplicação de *Lean* no contexto de processos contínuos.

Nessa ótica, Panwar *et al.* (2015) elaboraram uma extensa revisão da literatura, incluindo casos de aplicação dos conceitos de *Lean* em indústria de processos contínuos, e apontaram um grande déficit na literatura relacionado a esse tipo de aplicação.

Contudo, os autores conseguiram concluir que as empresas de processos contínuos, mesmo tendo os mesmos objetivos da indústria de processos discretos, ainda não incorporaram todos os conceitos do *Lean*. Por consequência, não conseguem atingir os benefícios do *Lean* na mesma proporção que as empresas de manufatura discreta.

As diferenças básicas entre os dois tipos de processos, segundo Panwar *et al.* (2015), se deve ao fato de que, como primeiro ponto, a indústria de processos adota tipicamente operações de mistura, separação, reações químicas, entre outras, que resultam em materiais não discretos. Assim, os produtos são líquidos, gases, pós e *slurries*, que mudam seu formato constantemente, e não podem ser manipulados sem serem containerizados. Tal característica dificulta ações para redução dos tamanhos de lotes, ou recipientes de armazenamento.

Além disso, esse tipo de indústria é caracterizado por equipamentos especializados e de alto custo, com grandes restrições ambientais e alto grau de automação. Assim, existe um grande foco na redução de custos de retorno sobre os ativos. Da mesma forma, ainda possuem altos níveis de estoques em sua cadeia de suprimentos.

Essas afirmações são corroboradas por Mahapatra e Mohanty (2007), que ainda acrescentam que a implementação de *Lean* em manufatura contínua cria um série de desafios, ausentes na indústria de processos discretos.

Segundo esses autores, a indústria de processos contínuos é tipicamente caracterizada por alta concentração de capital, em um número muito pequeno de estações de trabalho, normalmente de produção em massa, ou produção em fluxo contínuo (refinarias, processos químicos, produção de aço etc.). Os equipamentos são normalmente grandes em tamanho e fixos por natureza. Em contraste, os equipamentos menores e mais flexíveis de uma empresa discreta permitem facilmente a criação de *layouts* celulares.

Porém, Panwar *et al.* (2015) afirmam existir algumas aplicações de sucesso da filosofia *Lean* em indústrias de processos contínuos, mas, mesmo nesses casos, nem todos os princípios dessa ferramenta são aderentes ao tipo de negócio.

A revisão conduzida por tais autores sugere que as ferramentas do *Lean* menos dependentes das características do processo, tais como 5S, TPM, programação de gerenciamento da qualidade, padronização do trabalho, mapeamento do fluxo de valor, solução de problemas baseado em times e aprimoramento contínuo possuem registros de boas aplicações. No entanto, outras ferramentas, como por exemplo a manufatura celular, devem ser customizadas, ou não podem ser aplicadas.

Com base nesses preceitos, a Agência de Proteção Ambiental, EPA (2007) estudou diversos casos de aplicação de *Lean* em indústrias de processos discretos e contínuos, e divulgou um manual com estratégias e técnicas práticas para eliminação de desperdícios, aprimoramento da qualidade e entrega de valor aos clientes, com vistas a alcançar as metas de desempenho ambiental.

Nesse contexto, a EPA (2007) destaca que o desperdício ambiental é um uso desnecessário, ou excessivo de recursos, podendo ser também a liberação de substâncias no ar, na água, ou na terra, que podem prejudicar a saúde humana, ou o meio ambiente. Para a agência, os desperdícios ambientais podem ocorrer quando as empresas usam recursos para fornecer produtos, ou serviços, aos clientes e, também, quando os clientes usam e descartam produtos.

Na verdade, entende-se que, na prática, os desperdícios ambientais incluem também energia, água ou matérias-primas consumidas além do necessário para atender às necessidades dos clientes. Por esse motivo, as práticas necessitam de melhor controle, mensuração e gerenciamento; daí o surgimento do conceito de gestão ambiental - *Green*.

## **2.5 A gestão ambiental (*Green*)**

De acordo com Cruz Machado e Duarte (2013), a gestão ambiental é uma estratégia que se aplica aos locais em que se desenvolvem as atividades produtivas, para a tomada de decisões ambientais favoráveis, com a finalidade de se evitar as alterações de meio ambiente, resultantes de ação produtiva.

Nesse sentido, avaliar e gerir as alterações ambientais cumulativas das atividades humanas continua a ser um grande desafio para o desenvolvimento sustentável, tendo em

vista os impactos provocados pelas empresas no ambiente natural, que se tornaram uma questão relevante no comportamento de compra dos clientes, segundo Boztepe (2012).

Na prática, as empresas que procuram se manter competitivas perceberam essas novas exigências e posturas diante das questões ambientais atuais, conforme declara Sanches (2000). Segundo o autor, para assegurar o desempenho de uma organização, deve-se fazer uso das tecnologias ambientais, para que o negócio se torne “limpo”. Nessa lógica, Winston (2009) complementa que o compromisso quanto a um "negócio limpo" deve ser parte integrante da estratégia corporativa da instituição e, portanto, diz respeito a todas as funções de negócios.

Da mesma maneira, Assumpção e Campos (2014) estudaram de forma abrangente e integrada as questões relacionadas à gestão da cadeia de suprimento verde, e evidenciaram que as organizações têm se concentrado cada vez mais em suas cadeias produtivas, em particular no comportamento ambiental e nas responsabilidades dele decorrentes, o que remete ao conceito *Green*.

Esse conceito é um dos três pilares do desenvolvimento sustentável, ou sustentabilidade, introduzido no relatório “Nosso Futuro Comum”, apresentado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Comissão Brundtlandt (WCED, 1987).

Nesse entendimento, Abdullah *et al.* (2016) propõem que o conceito *Green* se centra sobre a rentabilidade, por meio de processos operacionais ambientalmente amigáveis. Nessa medida, a gestão da cadeia de suprimentos verde, ou *Green Supply Chain Management* (GSCM), acaba se tornando uma ferramenta para melhorar os lucros das empresas e a quota de mercado, aliada à redução de riscos e impactos ambientais, segundo Rao (2004).

Dessa forma, pode-se dizer que a adoção do conceito *Green* se constitui em uma base fundamental para a vantagem competitiva nas próximas décadas, não apenas por instituir controles de poluição e reciclagem de programas, na fabricação de bens, mas, sobretudo, por minimizar o impacto nocivo dos processos de fabricação no ambiente, em todos os estágios, conforme complementam Abdullah *et al.* (2016).

Assim, na perspectiva do “negócio limpo”, surge o trabalho de Srivastava (2007), Cabral (2011), Assumpção e Campos (2014), Afolayan, Mason-Jones e White (2016), que afirmam que a gestão ambiental deve ser implantada em toda a cadeia logística, e discutem conceitos como *design* ecológico do produto, seleção e aquisição de materiais verdes, *marketing* e consumo verde, processos de fabricação ambientalmente amigáveis, transporte do produto final ambientalmente amigável e gestão de produto final com vida ecológica.

Nessa visão, Arantes *et al.* (2012) resumem as práticas de gestão ambiental, conforme se vê no Quadro 2.

Quadro 2 – As práticas de gestão ambiental

Definição de gestão ambiental	Fonte
Implantar política de valorização de Gestão Ambiental, com declaração formal da Direção	Boiral (2006)
Treinar os funcionários sobre o meio ambiente, melhorar a política ambiental e educar todos sobre o impacto das suas atividades	Daily e Huang (2001)
Aplicar o princípio dos 3Rs (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) a água, eletricidade e resíduos sólidos. A aplicação dos 3Rs melhora a produtividade dos recursos (toda a atividade de entrada)	Marcus e Fremeth (2009)
Desenvolver processos de produção com um menor impacto ambiental	Sarkis (2003)
Aplicar a norma ISO 14001	ABNT NBR ISO 14001 (2004)
Promover a informação sobre o desempenho voluntário ambiental.	Boiral (2006)

Fonte: Arantes *et al.* (2012, p.958).

A questão que se coloca é que o crescente consumo de produtos que geram resíduos sólidos pela população revela o quão desafiadora é a gestão ambiental, tendo em vista que as consequências da destinação inadequada dos resíduos sólidos urbanos gera um desequilíbrio no meio ambiente, conforme consideram Duarte e Machado (2015). Além disso, para que os desafios sejam superados, é necessário considerar vários aspectos, conforme Sanches (2000, p.79):

Partindo dessas novas bases de negócios e de ideias, a empresa estabelece uma responsabilidade ambiental por processos e produtos que envolve um relacionamento diferente, compartilhado, com fornecedores e consumidores, no que se refere à prevenção da poluição, à minimização dos resíduos e à proteção dos recursos naturais (SANCHES, 2000, p.79).

Ademais, importa pensar que a responsabilidade ambiental inclui a conservação de matérias-primas e energia, além da eliminação de substâncias tóxicas e redução da quantidade e toxicidade de todas as emissões e resíduos, antes de deixarem o processo de produção.

Desse modo, a redução da quantidade de produção de resíduos, para todas as empresas, envolve considerar dois possíveis caminhos, como parte de um processo de melhoria centrado nos resíduos: a prevenção de geração de resíduos e a otimização dos métodos de gestão de resíduos.

Assim, independentemente do caminho escolhido pela empresa para realizar suas mudanças, as questões ambientais colocam permanentemente novos desafios, segundo Sanches (2000). Nesse contexto, a melhoria da produtividade dos recursos e a aplicação

política de gestão sustentável dos resíduos e materiais com base nos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar materiais) são fundamentais.

O fato é que é difícil trabalhar com a redução de resíduos, pois, segundo Pavan (2012), o volume residual gerado aumenta continuamente, devido ao rápido processo de urbanização e à cultura consumista da população. Para esse cenário, Abramovay, Petitgand e Speranza (2013) oferecem dados expressivos sobre a relação entre crescimento populacional e geração de resíduos: “Entre 1991 e 2000 a população brasileira cresceu 15,6%. Porém, o descarte de resíduos aumentou 49%”. Daí a necessidade do desenvolvimento de ferramentas capazes de mitigar a produção de resíduos.

Dessa maneira, verifica-se que a preocupação com a redução de resíduos vem de longa data, como comprovam Enrique e Monfort (1996), que já afirmavam a existência de vantagens ao se realizar uma correta produção energética ambiental, com prioridade às ações de economia de energia e reutilização de resíduos, seja de ordem econômica, ambiental, ou comercial.

À vista disso, a EPA (2007), a partir do acompanhamento e documentação de diversos casos de gestão ambiental nas empresas, afirma que as reduções substanciais de gasto de energia vinham no rastro da implantação da filosofia *Lean*, pois, com a eliminação de desperdícios na manufatura, tais como processamentos e transportes desnecessários, os negócios também reduzem o consumo de energia para alimentar os equipamentos, sistemas de iluminação, aquecimento e refrigeração. Por isso a união dos conceitos *Lean* e *Green*, que traduz uma nova abordagem para a questão produtiva e ambiental.

## **2.6 Integração do *Lean* com o *Green***

De acordo com Müller, Stock e Schililing (2014), embora as indústrias sejam fundamentais para a prosperidade social, constituem-se em um dos principais consumidores de energia. Considerando o contínuo acréscimo no custo da energia e o incremento constante da demanda do público por atividades econômicas mais sustentáveis, muitos setores declaram a eficiência energética como um de seus principais objetivos estratégicos.

Nessa perspectiva, as empresas buscam cada vez mais a implementação de melhorias no sistema de gestão de energia, bem como o cumprimento das obrigações legais, conforme ensinam Bauernhansl, Dörr e Wahren (2013), com vistas a diminuir o consumo desnecessário e, ao mesmo tempo, manter o rendimento. Nessa linha, a manufatura *Lean* é considerada uma

das iniciativas mais significativas de gerenciamento energético, pois intensifica a utilização efetiva dos recursos, por meio da identificação e eliminação de resíduos.

Nesse contexto, a EPA (2007) aponta estudos que comprovam que a adoção de práticas *Lean* melhorou o desempenho das organizações (eliminação de desperdícios, acréscimo de qualidade e aumento no valor entregue ao consumidor) e promoveu reduções no uso energético. De fato, os autores Müller, Stock e Schililing (2014) afirmam que os princípios do *Lean* são basicamente ligados ao desperdício de tempo; contudo, acrescentam que se o tempo é desperdiçado, a energia consumida durante esse tempo também poderia ser considerada como desperdício.

Embora o desperdício energético, assim como o ambiental, não estejam explicitamente incluídos nos sete desperdícios clássicos citados pelo Sistema Toyota de Produção, a EPA (2007) montou um quadro (Quadro 3), exposto na sequência, que apresenta a existência dessa relação, considerando que uma empresa pode alcançar reduções no consumo de energia e geração de resíduos com a implementação do *Lean* e, por conseguinte, impactar favoravelmente o meio ambiente:

Quadro 3 – Tipo de resíduo e o uso de energia

Tipo de resíduos	Uso da energia
<b>Superprodução</b>	Mais energia consumida no equipamento de operação, para tornar os produtos desnecessários.
<b>Inventário</b>	Mais energia usada para aquecer, arrefecer e iluminar o espaço de armazenagem.
<b>Transporte e movimentação</b>	Mais energia utilizada para o transporte; Mais espaço necessário para o movimento em processo (WIP); Aumento da demanda de energia, iluminação, aquecimento e refrigeração.
<b>Defeitos</b>	Energia consumida na fabricação de produtos defeituosos. É necessário mais espaço para retrabalho e reparo, aumentando o aquecimento, resfriamento e iluminação.
<b>Retrabalho ou trabalho ineficiente</b>	Mais energia consumida em equipamentos operacionais. O uso de equipamento adequados geralmente resulta em reduções no consumo energético.
<b>Espera</b>	Desperdício de energia de aquecimento, refrigeração e iluminação durante períodos de espera.

Fonte: Energy use hidden in Lean Wastes (EPA, 2007a, p.4 ).

Partindo dessa ideia, Davies e Van Der Merve (2016) trouxeram uma relação das oportunidades que se apresentam com a aplicação de técnicas de redução de desperdícios produtivos do *Lean*, para melhorar os indicadores de eficiência energética, conforme demonstrado no Quadro 4:

Quadro 4: Oportunidades de melhoria na eficiência energética decorrentes da implementação de técnicas de Manufatura *Lean*

Técnica de Manufatura <i>Lean</i>	Oportunidade de eficiência energética
<b>Redução de estoque</b>	Espaço necessário reduzido, resultando em menos energia necessária para iluminação, aquecimento, refrigeração e/ou ventilação do ambiente de estoque.
<b>Redução do tempo de <i>setup</i></b>	O equipamento de produção mantém um consumo residual ( <i>idle</i> ) de energia durante os <i>setups</i> . Assim, <i>setups</i> mais rápidos resultaram em menos energia residual consumida.
<b>Redução do tempo de inatividade</b>	Diminuição do consumo de energia residual ( <i>idle</i> ) durante tais períodos de inatividade ( <i>downtime</i> ).
<b>Redução do tempo de ciclo</b>	Gasta-se menos tempo e conseqüentemente menos energia para se produzir o mesmo tamanho de lote.
<b>Maior taxa de produção</b>	Com o aumento da taxa de produção num determinado período e considerando uma manutenção no consumo energético (ou um pequeno acréscimo), tem-se um aumento nos indicadores de eficiência energética.
<b>Redução de retrabalho / sucata</b>	O uso de energia para um retrabalho é um puro desperdício. Assim, o uso de energia diminuirá com a redução de refugo e retrabalho.
<b>Redução de movimentação de peça</b>	Diminuição do WIP resulta em tempos de movimentação mais curtos, que culmina em um menor uso de equipamentos energizados (correias transportadoras, monotrilhos e tubos de vácuo).
<b>Redução de espaço</b>	Diminuição do uso de iluminação e ventilação devido ao espaço aberto reduzido.

Fonte: Davies e Van Der Merve (2016, p. 223).

Diante disso, um estudo da EPA (2007) mostra os casos de sucesso da aplicação das oportunidades apresentadas no Quadro 4, acima exposto. O referido trabalho cita o exemplo da própria Toyota que, além de ser um modelo de sistema produtivo, é também líder no desempenho energético e ambiental.

Destaca-se que a *Toyota Motor Manufacturing* da América do Norte reduziu, no período de 2006 a 2009, o consumo energético médio em 30% por veículo, o que resultou também em uma redução da emissão de CO<sub>2</sub> pelas suas plantas. Nesse período, foram empregados principalmente eventos kaizen e programas com o tema “caça aos tesouros de energia”.

A partir das evidências de resultados favoráveis, diversos autores trouxeram propostas de uso combinado das técnicas do *Lean* e do *Green*. Como atesta Fercoq (2014), embora essas ferramentas sejam plenamente conhecidas separadamente, sua coexistência possibilita melhores alcances e, por esse motivo, diversos trabalhos passaram a cunhar o conceito *Lean Green*, aproveitando o melhor do *Lean* e o melhor do *Green*, como já dito anteriormente.

Nessa circunstância, o conteúdo das pesquisas contemporâneas sobre o *Lean* e o *Green*, especialmente após 2014, tem discutido basicamente o desempenho, a integração e as conexões entre as ferramentas. Furlan, Galeazzo e Vinelli (2014), apontam, a partir de três estudos de caso, que as empresas se esforçaram para obter operações mais saudáveis e, nesse cenário, suas equipes de gerenciamento adotaram práticas enxutas e ecológicas, por meio da realização de projetos de prevenção da poluição, sem prejuízo aos resultados da fabricação. Assim, constata-se evidências da interação sinérgica entre o *Lean* e *Green*.

Concomitantemente, Chiarini (2014) realizou investigações das práticas *Lean* e sua interferência nos resultados *Green*, apontando para melhorias significativas nos impactos ambientais. Outrossim, Abdulrahman *et al.* (2015) investigaram o impacto de práticas integradas sobre o desempenho ambiental, econômico e social, e evidenciaram o efeito positivo dessa integração. Em destaque, demonstraram que o tamanho e a maturidade da empresa influencia no nível da implantação.

Na mesma linha, a pesquisa elaborada por Centreras e Hallan (2016) concluiu que o relacionamento documentado entre gerenciamento *Lean Green* tem sido bastante escasso, e a maioria dos estudos sugerem resultados altamente otimistas, a partir da integração entre as duas ferramentas; no entanto, salientam a falta de um modelo operacional integrado.

Importa notar que Frozza *et al.* (2018), estudando propriedades rurais de café, na Colômbia, apresentaram um modelo de avaliação de integração e maturidade em relação à ferramenta *Lean Green*. Estabeleceram vinte métricas que permitem o cálculo da maturidade da empresa, pontuando-as de 1 a 5. Por fim, ainda apontaram que o estudo de maturidade das indústrias continua sendo uma lacuna nas pesquisas.

Nesse cenário, Arun, Ramesh e Vinodh (2016) propuseram o levantamento de fatores que podem influenciar a implantação de um sistema sustentável enxuto, integrado ao processo produtivo. Após algumas análises, concluíram por 25 fatores influenciadores. Todavia, os estudiosos Gadhi, Thakkar e Tkanki (2018) não acreditam que tais fatores sejam determinantes para a implantação da manufatura *Lean Green*, por ainda não terem sido amplamente explorados e analisados por estudos anteriores.

Na verdade, a ferramenta *Lean Green* é emergente, um campo de pesquisa relativamente novo, cujo número de publicações científicas tem crescido ao longo do tempo, como reitera Farias (2018).

Adicionalmente, além da ampliação de uso desse novo conceito, Faulkner e Badurdeen (2014) propuseram o desenvolvimento do MFV sustentável, com medições e

métrica ambiental, como o consumo de água no processo, o uso de matéria-prima e o consumo de energia, em uma fábrica de antenas.

De forma complementar, os pesquisadores Low, Ng e Song (2015) propuseram uma métrica chamada Carbon–Value–Efficiency (CVE), que integra o “tempo de valor agregado”, com a pegada de carbono, uma metodologia que permite a implementação das práticas *Lean Green*.

Nessa tendência, Thakkar e Thanki (2016), estudiosos da integração do desempenho operacional e ambiental do sistema de produção da Índia, apresentaram um diagrama de carga de Valor – VVLD (*Value Value Load Diagram*), para modelar e avaliar o desempenho *Lean Green* do sistema de produção e expor as oportunidades de melhorias. Investigaram derivados da abordagem *Lean Green* no desempenho do gerenciamento de resíduos sólidos, para definir a influência de diferentes métodos.

Na mesma medida, Blume, Herrman e Thiede (2018) apresentaram quatro ferramentas de integração do *Lean Green*, para verificar a de melhor eficiência. Motivados pelos déficits das abordagens existentes, propuseram a criação de uma ferramenta de simulação, e a compararam com as já existentes, quais sejam, MFVE, LCA, declarando que a ferramenta MFVE permite uma rápida identificação dos “pontos de pinça”, locais de possíveis campos de atuação.

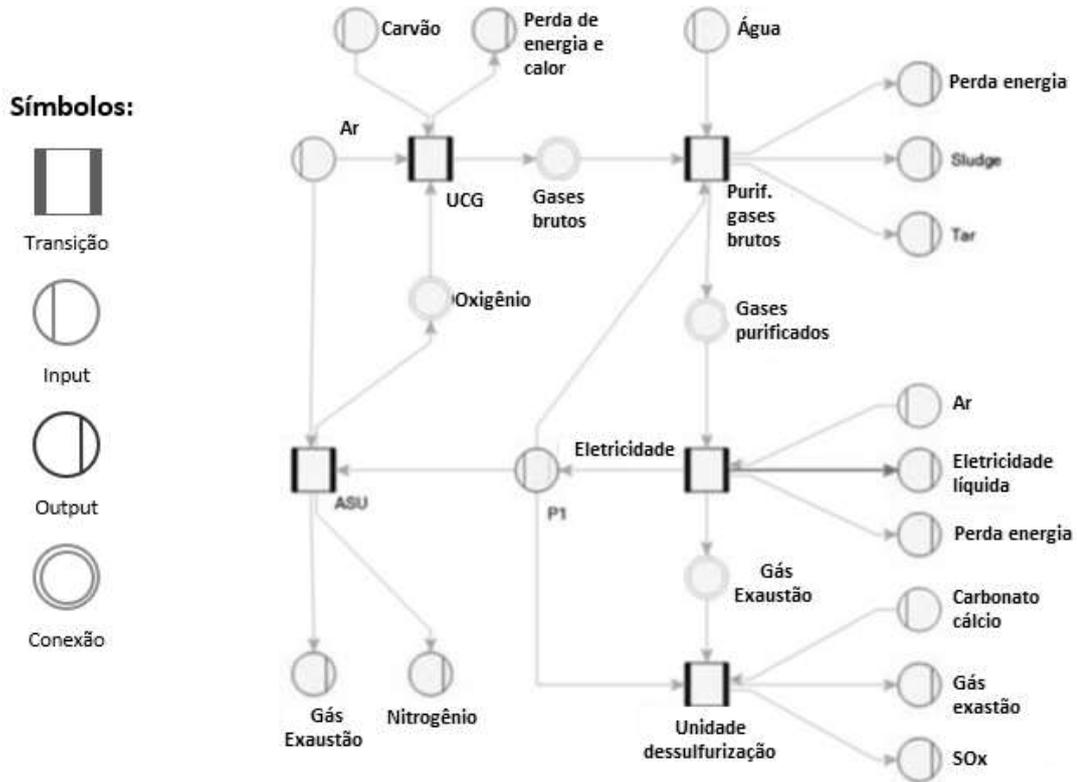
Paralelamente, Pereira, Ferreira e Campos (2018), em uma revisão da literatura, considerando 21 artigos correlacionados, destacaram o uso da ferramenta MFVE (do inglês *Energy Value Stream Mapping*) como instrumento promissor na redução do consumo de energia, um dos métodos amplamente utilizados por profissionais do setor industrial, com o objetivo de eliminar ineficiências nos processos.

Nessa ideia, esses autores apontaram que a implementação do MFVE é realizada por meio de procedimentos, metodologias e ferramentas de simulação, tais como, Diagrama de Sankey, Análise do Fluxo de Material e Energia - MEFA (do inglês – *Material and Energy Flow Analysis*), PDCA, método de Medição e Verificação (M&V), Avaliação do Ciclo de Vida – LCA (do inglês *Life Cycle Assessment*), dentre outros.

O MEFA, segundo Pereira, Ferreira e Campos (2018), originou-se da ferramenta Análise do Fluxo de Materiais, estendida para incluir energia em sua análise. Consiste em um método de quantificação dos fluxos e dos estoques, em um tempo e espaço definidos, a partir da lei de conservação da matéria, que relaciona os fluxos de entrada e saída com o estoque intermediário. Além disso, especifica o material, fluxo de energia e estoques, em termos

definidos e padronizados, apresentando os resultados de forma significativa e reprodutível, como evidência a Figura 6, a seguir:

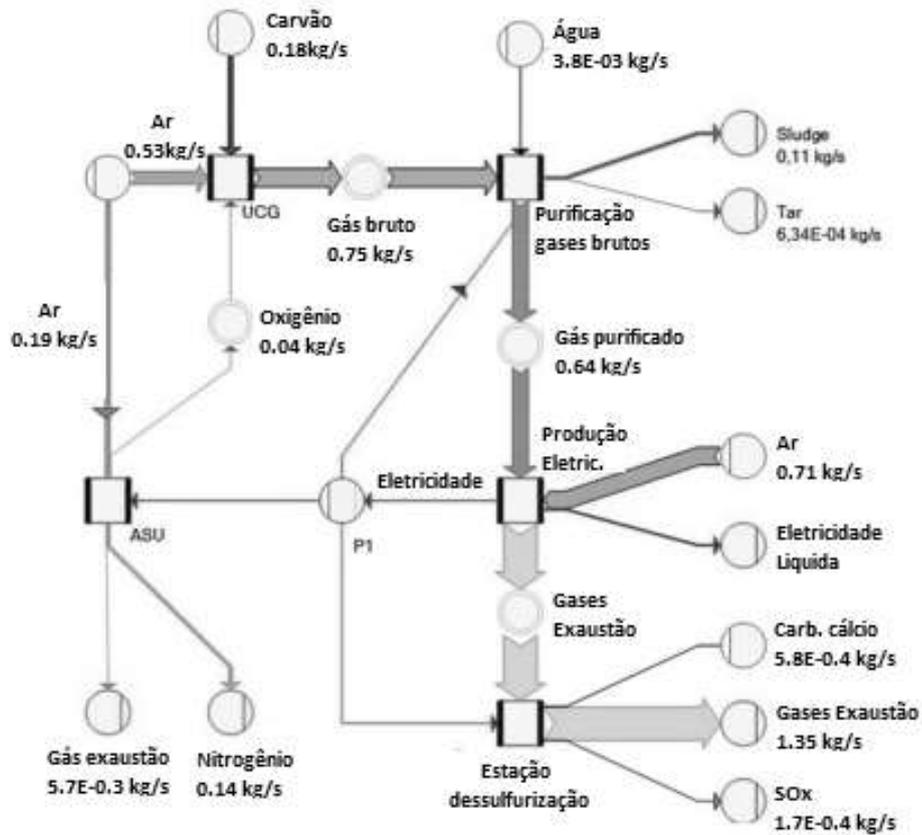
Figura 6 – Exemplo de um diagrama MEFA (produção de energia a partir de gás UCG)



Fonte: Czaplicka-Kolarz et.al (2014, p.44).

Já o diagrama de Sankey, também destacado por Pereira, Ferreira e Campos (2018), permite realizar uma análise visual de determinado sistema, ressaltando os problemas e a ineficiência, ao longo do fluxo de material e/ou energia. Nesse diagrama, o sentido e a intensidade de determinado fluxo são determinados por setas de espessuras diferentes. Um exemplo de representação Sandkey, do mesmo processo de produção de energia da figura anterior (a partir do gás UCG), é apresentado na Figura 7, a seguir:

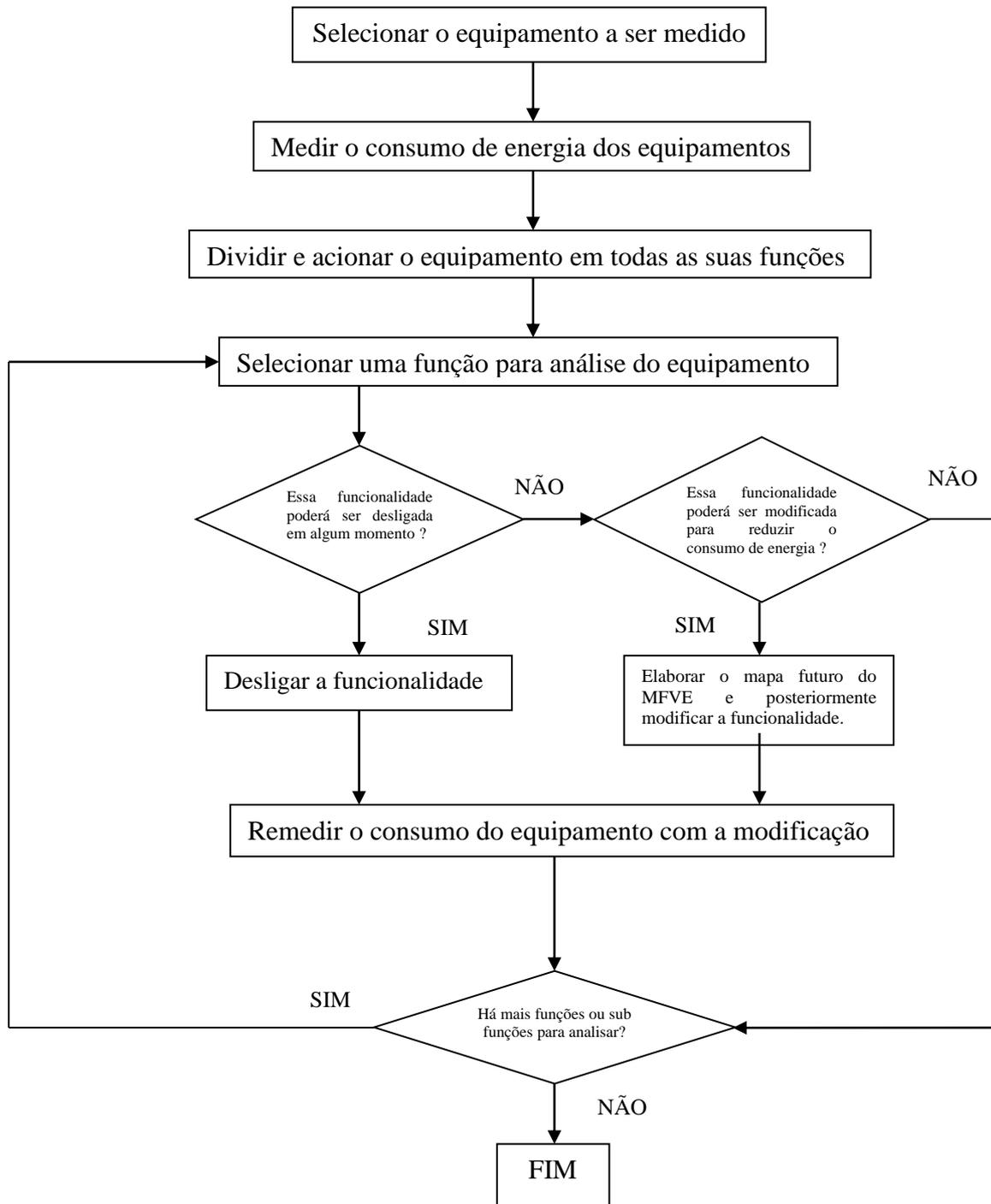
Figura 7 – Exemplo de um diagrama Sandkey (produção de energia a partir de gás UCG)



Fonte: Czaplicka-Kolarz et.al (2014, p.45).

Na perspectiva de aumentar a eficiência energética de uma linha de manufatura com máquinas CNCs e controladores CLP, Carvalho (2015), em seus estudos, propôs um método sistemático para buscar oportunidades de redução do consumo dos equipamentos da linha, a partir de medições e análise. Esse método é apresentado na figura 8, na sequência:

Figura 8 – Fluxograma do método para aumentar a eficiência de um equipamentos no sistema de manufatura a partir de medições e análise



Fonte: CARVALHO (2015, p.64, adaptado).

No nível da exemplificação, o método de Carvalho (2015) foi aplicado em uma esteira de transporte de peças, em uma das empresas estudadas.

De forma convencional, a esteira ficava permanentemente ligada (consumo de 2000Wh), mesmo sem peças, em períodos de parada de linha, ou mesmo nos horários de inatividade. Identificado o comportamento do equipamento nessa condição, foi realizada uma reprogramação, em que a esteira passou a ser desligada, no momento em que não havia peça na linha. Essa ação resultou em uma economia de 90% no consumo de energia, e a figura 9 mostra o novo perfil de potência consumida pelo equipamento, após a alteração realizada:

Figura 9 – Perfil de potência da esteira após análise e reprogramação



Fonte: CARVALHO (2015, p.101).

Com relação à sustentabilidade, a EPA criou o programa E3 (*Economy, Energy, Environment*), uma estrutura de assistência técnica federal para ajudar as comunidades e fabricantes, nas suas cadeias de suprimentos de fabricação, a se adaptarem a uma economia sustentável e prosperar. Tal programa busca, entre outros objetivos, reduzir o consumo de energia elétrica. Para tanto, foram propostas ferramentas como o MFV, adaptado para energia elétrica – MFVE, mapa de fluxo estudado nessa pesquisa.

## 2.7 A ferramenta de mapeamento do fluxo de valor de energia

Na seção 2.3 desse estudo, foi apresentado o mapa de fluxo de valor (MFV), originalmente proposto por Rother e Shook (2003), com a finalidade de planificar a produção. Esse mapa se mostrou muito prático na visualização dos valores agregados e não agregados na mercadoria, com foco em duas variáveis, quais sejam, o tempo em que o valor é somado ao produto e o tempo do ciclo para a produção de um produto novo.

Entretanto, a EPA (2007a), em sua publicação "*The Lean and Energy Toolkit*", propôs mais um passo no processo de elaboração do referido mapa, considerando que, durante os

eventos de varredura para anotação dos dados do estado atual (tempo de ciclo, tempo de *setup*, tempos de máquina ligada e operando, etc.), o time poderia aproveitar a caminhada para observar o uso de energia e, também, identificar sinais de utilização desnecessária e ineficiente, atentando para as seguintes indagações:

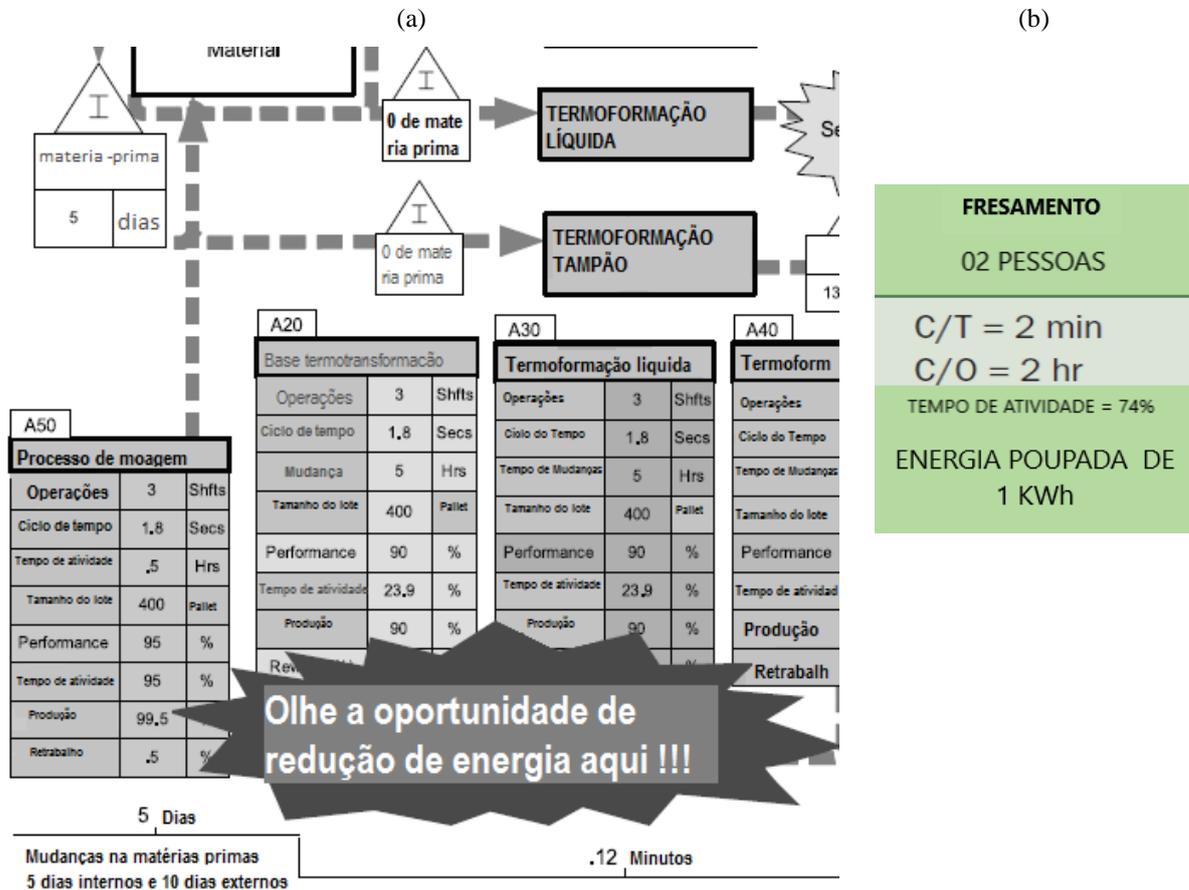
- Motores e máquinas
  - As máquinas permanecem funcionando quando não estão em operação? Se sim, por quê?
  - São usados motores, bombas e equipamentos com eficiência energética?
  - Os motores, bombas e equipamentos são dimensionados de acordo com suas cargas? Os sistemas de motor usam controles de velocidade variável?
- Ar comprimido
  - Se for usado o ar comprimido, percebe-se algum vazamento no sistema?
  - Os sistemas de ar comprimido usam a pressão mínima necessária para operar o equipamento?
- Iluminação
  - A iluminação está focada onde os trabalhadores precisam?
  - A iluminação é controlada por sensores de movimento em depósitos, áreas de armazenamento e outras áreas que são usadas de forma intermitente?
  - São utilizadas lâmpadas com eficiência energética?

Segundo a EPA (2007a), normalmente os equipamentos já estão instalados e trabalhando normalmente no setor fabril. Contudo, a verdadeira necessidade consiste não apenas em se identificar o valor agregado, ou não, ao produto, mas também o quanto está sendo agregado e, também, se está havendo eficiência, ou oportunidades de melhorias.

Nesse sentido, o objetivo desse processo de mapeamento passa a ser tanto a identificação dos processos e ações que agregam valor ao produto final, como também a indicação do uso e desperdícios de energia na mesma situação. Assim, permite-se ao time *Lean* desenhar um mapa futuro, considerando melhorias e aumento de eficiência nas duas abordagens: princípio *Lean* e economia de energia.

A figura 10 abaixo mostra as formas de indicação dos dados energéticos no MFV, conforme proposto pela EPA (2007a). Nota-se que as oportunidades de melhoria poderiam ser destacadas por marcações sobre o mapa, ou serem descritas nas caixas de dados do processo.

Figura 10 – Métodos propostos pela EPA (2007a) para inclusão de dados de consumo de energia em mapas de fluxo de valor: (a) exemplo de uma inserção de uma marcação de destaque indicando oportunidade de redução de energia; (b) inserção de dados de uso de energia diretamente na caixa de processo



Fonte: EPA (2007a, p. 8, adaptado)

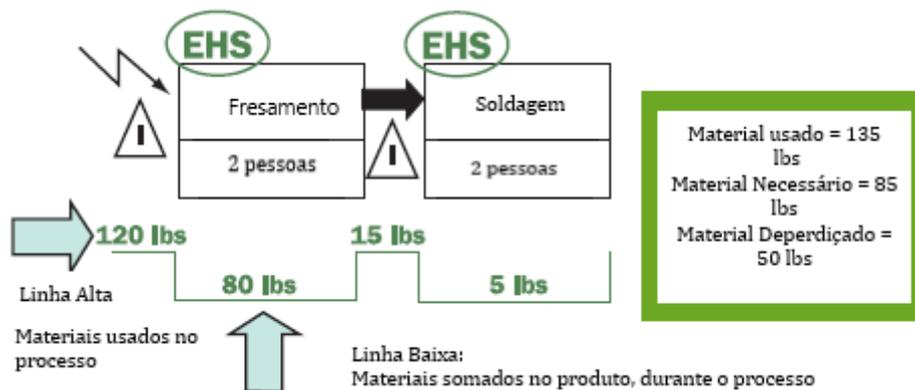
Destaca-se que essa mesma proposta já foi aprimorada na publicação posterior da EPA, “*The Lean and Environment Toolkit*”.

Nessa publicação, a EPA (2007b) afirma que o mapa de fluxo de valor examina tipicamente o tempo gasto para se produzir um produto e a proporção desse tempo que realmente gera valor. Porém, não foca nos recursos consumidos e eventualmente desperdiçados na produção do produto.

Nesse caso, ao se analisar os materiais consumidos no processo, o *toolkit* sugere o desenho de uma “linha de material”, juntamente com a linha de tempo do MFV. Tal linha de material indicaria a quantidade total de material utilizada por cada processo, além da quantidade que efetivamente adiciona valor ao produto final, na perspectiva do cliente.

A figura 11 traz um exemplo da “linha de material” no mapa de fluxo de valor. A EPA (2007b) ainda destaca que essa mesma ideia poderia ser aplicada a outros tipos de recursos, tais como água, energia, substâncias críticas, etc.

Figura 11 – Exemplo de inserção de uma “linha de material” no mapa de fluxo de valor



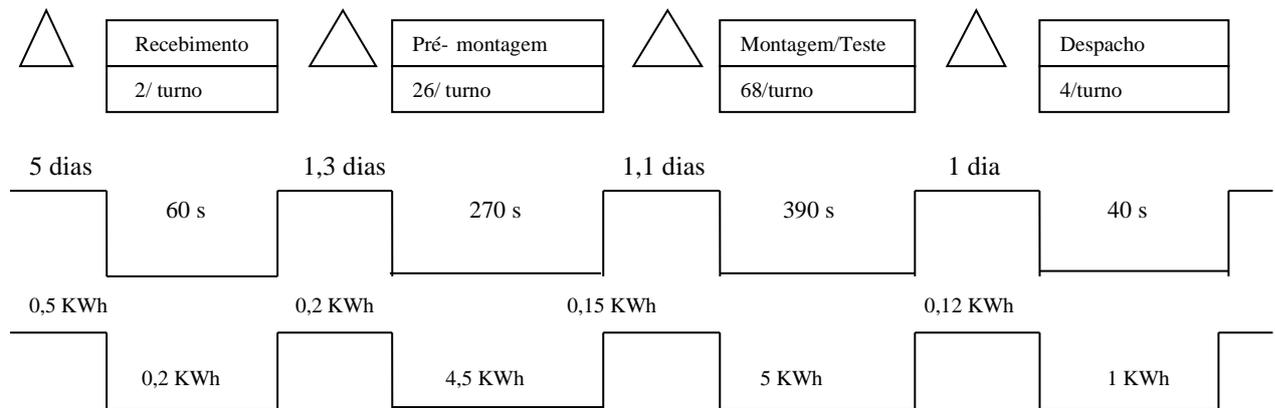
Fonte: EPA (2007b, p.4, adaptado)

Cumprе ressaltar que essa figura destaca o consumo total de 135 lb de material, sendo que somente a quantidade de 85 lb já agregaria valor ao produto. A quantidade restante de 50 lb representa, portanto, um desperdício.

Ainda nessa lógica, a EPA (2011), em uma terceira publicação chamada “*The Lean and Chemicals Toolkit*”, acrescenta mais dados ao MFV, a fim de considerar todos os insumos do processo, com especial atenção àqueles resíduos perigosos, produzidos por uma indústria química. Nessa publicação, o *toolkit* traz uma figura completa, mostrando a linha de tempo de energia na porção inferior do gráfico, com períodos de agregação, ou não, de valor. Destaca ainda oportunidades de consumo de outros insumos complementares, por meio de setas que indicam entradas adicionais a cada processo, conforme demonstrado na figura 12:



Figura 13 – MFV com a indicação do consumo de energia



FONTE: Okagami (2015, p.43).

Nesse propósito, Asan, Kayakutlu e Keskin (2013) destacam que a maioria dos estudos *Lean* na área de engenharia tem como foco a economia nos processos de fabricação. A abordagem do MFVE trouxe uma técnica gráfica que permite agregar o nível de uso de energia ao mapa e, assim, descobrir as oportunidades de economia a cada etapa dos diferentes processos, tanto na produção, quanto no suporte às instalações.

Na verdade, o propósito da ferramenta MFVE é proporcionar uma plena gestão da energia utilizada no processo de fabricação, tornando-o o mais eficiente possível, para que seja capaz de “fazer mais com menos energia”. Isso significa desenhar no papel as etapas do processo fabril, juntamente com o gerenciamento energético da planta, criando o estado atual da empresa e proporcionando uma integração entre o gerenciamento da fábrica e o da energia. Tais ideias são discutidas por Asan, Kayakutlu e Keskin (2013) e reiteradas por Forcellini e Hedlund (2018).

Assim, o MFVE é um método simples, mas muito eficaz para se obter uma visão holística do estado dos fluxos de valor energético, em uma organização. Com base na análise do estado atual das correntes de produção e dos quantitativos energéticos, visa-se à melhoria da eficiência dos processos, com planejamento de projetos, implementados para o estado alvo.

Nesse sentido, a EPA (2007a) afirma que, ao aplicar a ferramenta de MFVE, obtém-se economias substanciais, eliminando os resíduos do processo de fabricação, tais como o processamento, transporte e negócios e, também, reduz-se a energia necessária para o equipamento, iluminação, e refrigeração. Essas economias substanciais costumam ser as melhores do *Lean*, pois ao eliminar resíduos de manufatura, como processamento e transporte

desnecessários, as empresas também reduzem a energia necessária para alimentar equipamentos, iluminação, aquecimento e refrigeração.

Em resumo, a metodologia do MFV, estendida para o valor do mapeamento de fluxo energético – MFVE -, permite avaliar o consumo de energia de uma forma holística e os possíveis impactos ecológicos e econômicos, de acordo com os estudos de Herrmann *et al.* (2015).

Compete salientar que Alvandi *et al.* (2014) criticam o modelo de gestão energético, também aplicado na construção civil, pois ele coloca o foco sobre os principais processos e máquinas de produção, mantendo uma visão míope sobre as demais atividades. A ferramenta MFVE, ao contrário, não prioriza as principais máquinas ou processo; tem uma visão holística da empresa, observando detalhes em todos os setores.

Nesse pressuposto, o artigo publicado por Baysan *et al.* (2019) tem por objetivo analisar e reduzir o consumo de energia na Transformação *Lean*. Os autores abordaram os efeitos da irregularidade (*mura*) e da sobrecarga (*muri*) como causas principais dos resíduos (*muda*), no consumo de energia. No referido artigo, a metodologia proposta é aplicada a um sistema de fabricação de escada de cabo da vida real, e demonstra-se sua viabilidade. Os resultados mostraram que a adaptação da manufatura celular, sistema pull e à prova de erros (*PokaYoke*) gerou uma redução de aproximadamente 72,37% no consumo de energia.

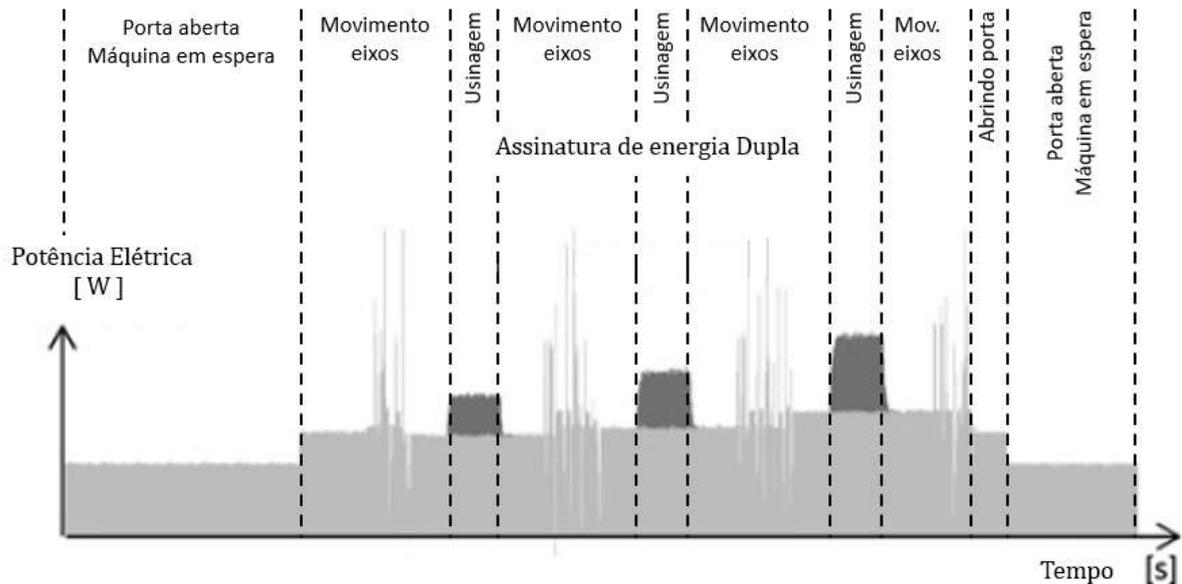
No caso do estudo de Chatterjee, Sharma e Mukherjee (2014), o MFVE foi utilizado para analisar o consumo de energia na produção de biodiesel, em processo contínuo. Os autores concluíram que o MFVE é uma ferramenta eficaz para identificar a área em que a energia é desperdiçada e, com alteração do processo de filtragem, obtiveram uma redução de 47% no consumo total. Também apontaram o consumo exagerado pelo excesso de estoque produzido.

Com relação à noção de agregar valor, Müller, Schillig e Stock (2014), em seus estudos, abordam o fato de que, mesmo dentro da região de agregação de valor, nem todo tempo e energia estão realmente vinculados a que isso aconteça, o que aparece exemplificado na figura 14, logo abaixo.

Nessa figura 14, o primeiro patamar de potência estabelece a transição de estado máquina em espera (sem agregar valor) para máquina em operação (supostamente agrega valor durante todo o estado). Contudo, nota-se que, mesmo enquanto ligada, a máquina somente agrega valor se estiver efetivamente usinando (partes mais escuras do gráfico de potência). Nos demais trechos, mesmo ligada e com movimento de seus eixos (com nível

intermediário de potência consumida), a ferramenta não está em contato com a peça e, portanto, não há remoção de material e valor agregado.

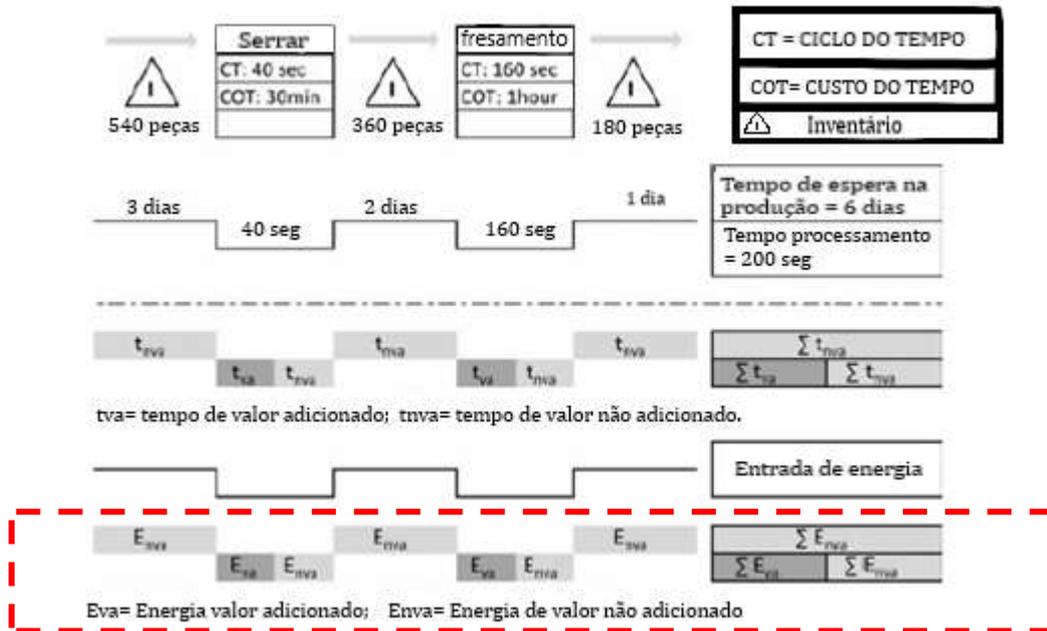
Figura 14 – Gráfico de potência consumida de uma máquina de usinagem, indicando os tempos efetivos de usinagem (agregação de valor)



Fonte: Müller, Schillig e Stock (2014, p. 245, adaptado)

A partir dessa ideia, Müller, Schillig e Stock (2014) propuseram uma reformulação no gráfico de tempo e energia do MFVE. As linhas altas - tempos de não agregação de valor ( $t_{nva}$ ) e energias de não agregação de valor ( $E_{nva}$ ) - continuaram sendo consideradas. Contudo, a porção baixa da linha precisaria ser melhor quantificada, tanto em outros tempos de não agregação de valor ( $t_{nva}$ ), como nos períodos em que ela ocorre ( $t_{va}$ ). O mesmo princípio se aplicaria às energias de não agregação de valor ( $E_{nva}$ ), conforme a figura 15 a seguir:

Figura 15: Representação esquemática de um MFVE, considerando os tempos e energias efetivas de agregação ( $t_{nva}$  e  $E_{nva}$ ) e não agregação de valor ( $t_{va}$  e  $E_{va}$ ).



Fonte: Müller, Schillig e Stock (2014, p.245, adaptado).

Nessa acepção, Müller, Schillig e Stock (2014) ainda propuseram a criação de um termo denominado eficiência de agregação de valor, aplicado tanto para tempo ( $\eta_{Tva}$ ), quanto para energia ( $\eta_{Eva}$ ), conforme demonstrado na equação:

$$\eta_{Eva} = \frac{E_{va}}{(E_{va} + E_{nva})}$$

$$\eta_{Tva} = \frac{t_{va}}{(t_{va} + t_{nva})}$$

Por fim, importa ressaltar que a ideia de separar a energia aparente de agregação de valor (calculada durante todo o tempo da linha de energia baixa) em dois termos já havia sido proposta por Rahimifard, Seow e Child (2010), mas em um contexto totalmente diferente do MFVE. O que esses autores propuseram é um método denominado *Embodied Product Energy* (EPE), para avaliar a eficiência energética de um processo de manufatura. Nesse método, a energia consumida pelo processo é inicialmente separada em duas parcelas:

- energia direta (ED), utilizada nos processos necessários para a fabricação do produto (exemplo: corte, fundição, a fresagem);

- energia indireta (EI), utilizada para manter o ambiente da empresa em operação (exemplo: iluminação, ar-condicionado, ventilação, luminosos).

Posteriormente, a energia direta (ED) pode ser dividida em duas novas outras parcelas:

- energia teórica (ET), necessária para a agregação real de valor (exemplo: fundir o material em um processo de fundição);
- energia auxiliar (EA), necessária para o apoio às atividades da máquina individual, ou do processo (exemplo: geração de vácuo para o processo de fundição de areia).

Colocando-se na forma de equações, tem-se que:

$$ER_{\text{processo}} = ET / ED; \quad \text{sendo } ER_{\text{processo}} \text{ (razão de eficiência do processo)}$$

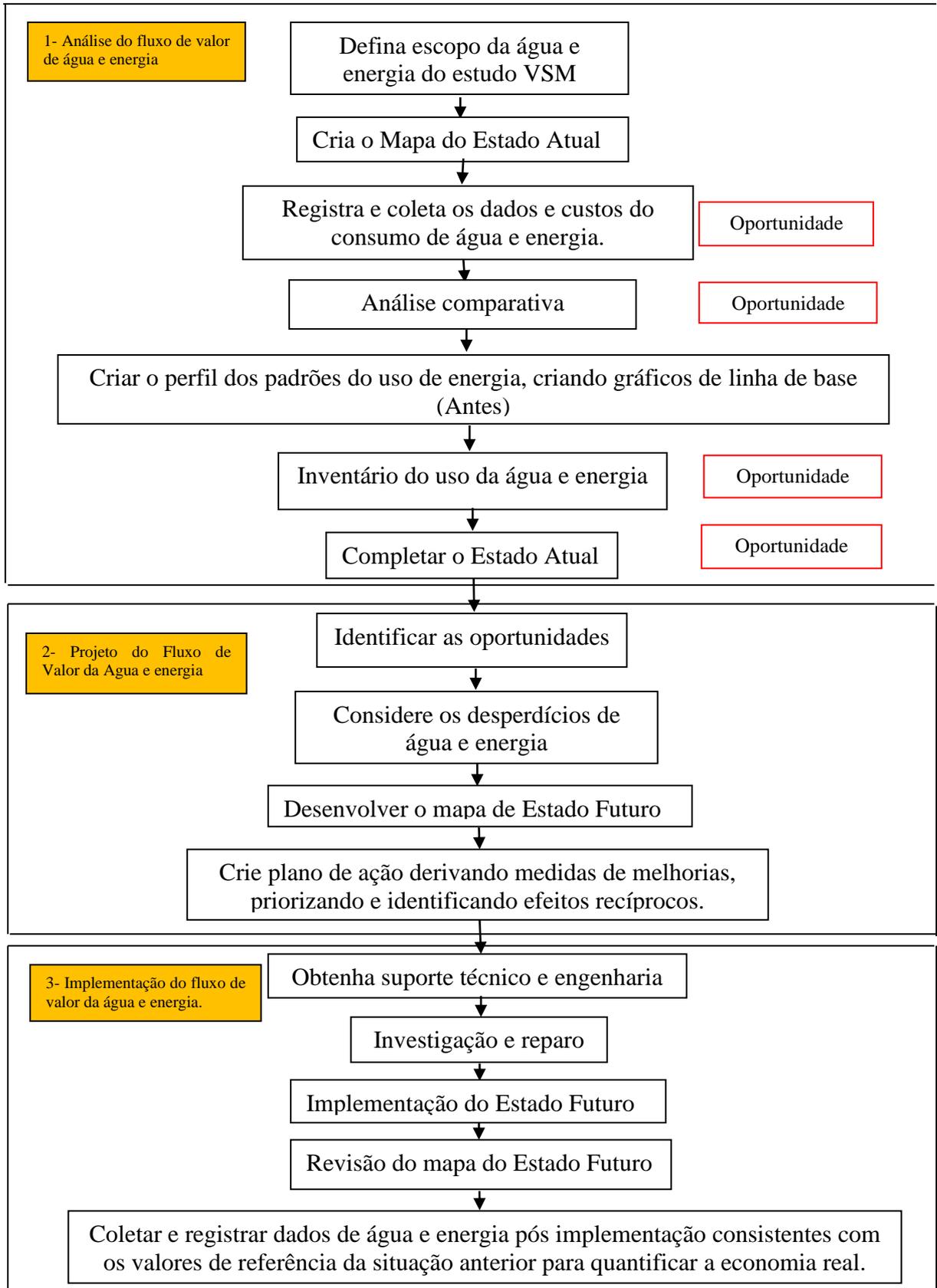
## 2.8 Procedimentos para implantação do MFVE

Davies e Van der Merve (2016) estudaram os impactos da aplicação da filosofia *Lean* na eficiência energética de indústrias da África do sul. Embora a implementação das técnicas de manufatura *Lean* conduzam naturalmente à melhoria da intensidade energética, os autores acreditavam existir ainda maior potencial no desenvolvimento de uma ferramenta baseada em *Lean*, que se concentraria especificamente na melhoria da eficiência integrada da energia e da água.

Dessa maneira, em vista desse propósito, o conceito do MFVE foi utilizado e transformado na ferramenta “*Water and Energy Stream Mapping*” (WESM), para a qual Davies e Van der Merve (2016) elaboraram um fluxograma, para guiar o processo de implantação.

O fluxograma do WESM, ilustrado na figura 16, é composto por três estágios de implantação. No primeiro, cria-se um mapa do fluxo de valor (MFV) convencional, que resulta em um fluxo esquemático específico para se chegar à representação visual do processo:

Figura 16: Fluxograma ilustrativo da estrutura do WESM



Fonte: Davies e Van der Merwe (2016, p.223).

A visão proporcionada pelo fluxograma no primeiro estágio é essencial para se definir estratégias de coleta e registro dos dados de consumo de água e energia. Já no segundo estágio, os registros de consumo são analisados e, conseqüentemente, são identificadas oportunidades de melhoria nas eficiências energética e de água. Tais oportunidades serão registradas em um WESM futuro, juntamente com um plano de ação.

Por fim, no terceiro estágio, as propostas do mapa seguinte são implementadas. Para se garantir um ciclo de melhoria contínua (inspirado no ciclo PDCA)<sup>1</sup>, o estado futuro atingido é transformado no novo estado atual, e um novo ciclo é reiniciado, em busca de maior eficiência no consumo de energia e água.

---

<sup>1</sup> Método de planejar, fazer, verificar e agir, do inglês *Plan-Do-Check-Act*, criado na década de 20, por *Walter Andrew Shewart*, físico norte-americano, como uma ferramenta alternativa para a solução de problemas e melhoria contínua dos processos de gestão (Disponível em <https://www.venki.com.br/blog/o-que-e-ciclo-pdca/#:~:text=O%20ciclo%20PDCA%20foi%20criado,no%20controle%20estat%C3%ADstico%20de%20qualidade>. Acesso em 09.dez.2019).

### **3. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A metodologia adotada nessa pesquisa possibilita alcançar o objetivo de averiguar a implantação do sistema MFVE, para a melhoria da eficiência energética, em um setor de uma empresa de saneamento. Inicialmente, apresenta-se o enquadramento da pesquisa, na sequência, sua classificação, abordagem do problema, fins, meios de investigação, coleta de dados e, por fim, os procedimentos operacionais.

#### **3.1 Enquadramento da pesquisa**

A pesquisa consiste em realizar um procedimento de abordagem sistemática, para sondar, inquirir, esquadrinhar e extrair a coleta de dados, quesitos mínimos necessários, em busca de uma análise do problema, previamente formulado, conforme apresentado por Bryman (1989).

Nessa concepção, Gil (2007) destaca que a pesquisa desenvolve-se por fases, até chegar aos resultados: “[...] procedimento racional e sistemático, que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa desenvolve-se por processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados” (GIL, 2007, p.17).

No que se relaciona às características de abordagem, esse estudo se iniciou com uma pesquisa bibliográfica, aliada à pesquisa detalhada de campo, em um setor de empresa de saneamento básico. Para se chegar a essa classificação, a base do estudo desenvolvido foi Gil (2007), que considera a presença da especificidade de cada estudo de campo, no seu plano geral.

O plano geral em questão, por sua vez, consistiu na elaboração do mapeamento inicial, com a exploração preliminar de toda a instalação, seguida da análise para coleta dos parâmetros, coleta dos dados, análise do material e, finalmente, a produção da conclusão.

Considerando a natureza aplicada dessa pesquisa, todo o processo foi analisado com intervenção exploratória transversal, no aspecto temporal. A coleta de dados foi realizada por meio de observações documentais e medições de grandezas físicas, com instrumentos adequados. A análise, por seu turno, foi feita por interpretações e reflexões, tendo como base o mapeamento realizado na empresa.

Nesse sentido, pode-se dizer que, nesse estudo de campo em específico, a relação com os dados foi de tipologia qualitativa e quantitativa. Na perspectiva qualitativa, foram

descritas as influências processuais no tratamento, com a elaboração do mapeamento atual, as particularidades e experiências individuais de cada setor produtivo. Já na perspectiva quantitativa, o ponto analisado foi o levantamento de dados de grandezas elétricas.

Feito isso, foram elaboradas avaliações dos resultados numéricos obtidos, para conferência de eventuais oportunidades de melhoria da eficiência energética, na acepção de Ensslin e Vianna (2008): “Considera-se que a pesquisa de predominância quali-quantitativa pode ser utilizada para explorar melhor as questões pouco estruturadas, os territórios ainda não mapeados, os horizontes inexplorados, problemas que envolvem atores, contextos e processos” (Ensslin e Vianna, 2008, pag.5).

Cabe dizer que, como a pesquisa se baseia em estudo de campo, o objeto estudado foi explorado, com aprofundamento e caracterização de seus segmentos, e o resultado foi revelado conforme foi percebido, como descreve Gil (2007).

Além disso, segundo Eisenhardt (1989), outra característica desse tipo de estudo é a versatilidade da coleta de dados. Nesse aspecto, destaca-se a sua aplicabilidade na capacidade de investigação de um fenômeno contemporâneo, dentro de seu contexto da vida real e contínua, conforme conceitua Yin (2001).

Assim, nessa pesquisa de campo, de caráter exploratório, a proposta não foi somente a descrição da aplicação do *Lean Green* e da ferramenta MFVE, mas também a confirmação dos determinantes teóricos da aplicação da ferramenta, que possuem uma produção contínua, em uma empresa de saneamento.

Dessa feita, sendo exploratório, esse estudo estabeleceu, de forma geral, critérios, métodos e técnicas para a elaboração da pesquisa, e ofereceu informações sobre o seu objeto e a formulação das hipóteses, para serem verificadas, conforme enfatiza Gilbert, Ruigrok e Wicki (2008).

Dessa maneira, esse trabalho percorreu uma análise detalhada do processo de obtenção de um protocolo de pesquisa, que significa propor um padrão, avaliando os conceitos e suas possibilidades de aplicação, por meio da argumentação das ferramentas *Lean Green* e a MFVE. Nesse aspecto, foi possível verificar se a técnica proposta - o mapeamento de fluxo de valor energético (MFVE) – era plausível, e as dificuldades encontradas foram observadas e registradas.

Dito isso, apresenta-se essa pesquisa como prática, pois os resultados obtidos foram as possíveis soluções para alcançar a melhoria da eficiência energética do processo de produção, em um estudo temporal, de forma transversal.

Desse modo, essa pesquisa visa a um levantamento confirmatório (testa a teoria, descreve e explica), a partir de conhecimentos prévios, fenômenos articulados de forma teórica, conceitual, modelos e proposições bem definidos, como descreve Mello *et al.* (2012), ao explicar os termos causa e efeito, na obtenção do novo modelo da operação para a melhoria do desempenho energético.

### **3.2 Procedimentos operacionais**

Esse estudo se desenvolveu em empresa de saneamento, na qual o pesquisador atua, com atividades profissionais, especificamente no setor de manutenção. Com isso, foi possível o acesso aos processos desenvolvidos, e a obtenção dos valores das grandezas elétricas reforçou a intenção de propor procedimentos de forma científica, para a obtenção de melhoria na eficiência energética.

A motivação para o desenvolvimento de estudos específicos nessa área se constituiu não apenas nos números reduzidos de pesquisas sobre o tema tratado, mas, principalmente, sobre a necessidade de refletir sobre estratégias para a melhoria da eficiência energética, em processos que afetam diretamente o meio ambiente.

Nesse sentido, o primeiro ato foi a realização de uma reunião com a alta administração da empresa, que é pública, para, em um segundo momento, obter autorização para o levantamento dos dados das grandezas elétricas, orientado para o estudo científico.

Na sequência, a etapa foi a de fazer reunião com a administração local, o engenheiro de automação e os técnicos responsáveis pelo contrato junto à concessionária local, cuja pauta consistiu no esclarecimento da operacionalidade da empresa para uma perfeita compreensão dos processos fabris, o que aconteceu no mês de março de 2019.

A partir de então, houve a proposta do protocolo de pesquisa para o presente trabalho. Esse protocolo teve como inspiração inicial as quatro etapas clássicas de implantação de um mapa de fluxo de valor, conforme proposta de Rother e Shook (2003), - vide figuras de 2 a 5, da seção 2, e houve, também, um grande embasamento no fluxograma proposto por Davies e Van der Merwe (2016), para a implantação do *Water and Energy Stream Mapping* (WESM), - vide figura 16, da seção 2.

Nesse direcionamento, a união dessas duas inspirações, somadas a algumas adaptações necessárias a um processo de manufatura contínua, resultou no protocolo de dez passos de implementação, apresentado no Quadro 5, conforme segue:

Quadro 5 – Protocolo da pesquisa

Passo	Descrição das ações
1 ° Passo	Definir o processo e/ou operação que passará pelo MFVE;
2 ° Passo	Fazer um diagnóstico em todas as partes da empresa;
3 ° Passo	Levantar, registrar e detalhar as estações elétricas, seus comandos e informação sobre suas condições e procedimentos de operação;
4 ° Passo	Desenhar um MVF do Estado Atual (sem a parcela de energia);
5 ° Passo	Fazer um levantamento das grandezas elétricas dos maquinários;
6 ° Passo	Finalizar o desenho do MFVE, caracterizando o fluxo de valor e o consumo de energia;
7 ° Passo	Analisar o mapa e suas informações;
8 ° Passo	Elaborar o MFVE do Estado Futuro;
9 ° Passo	Elaborar o Plano de Ação para implantação do MFVE do Estado Futuro;
10 ° Passo	Mensurar os resultados da implantação do MFVE do Estado Futuro e a realização de um novo ciclo de melhoria.

Fonte: elaborado pelo pesquisador.

De forma explicativa, segue a descrição dos passos, para melhor compreensão do protocolo elaborado:

### **1° Passo: Definir o processo e/ou operação que passará pelo MFVE na empresa**

O procedimento de instituir a família de produto consiste na determinação de um grupo de produtos, que passam por etapas semelhantes de processamento e utilizam equipamentos comuns nos seus processos.

As limitações dos estudos e as delimitações necessárias devem estar de comum acordo com a administração da empresa, de tal forma que se possa definir claramente o processo e os pontos a serem mapeados.

### **2° Passo: Fazer um diagnóstico em todas as partes da empresa**

Nesse passo, inicia-se a pesquisa, pela compreensão e identificação do processo de fabricação que se pretende mapear. Assim, para começar o mapeamento do fluxo de valor e de energia, deve-se conhecer plenamente o setor, os processos envolvidos, fluxos de produção, ciclos internos e estoques. Ademais, a esses se acrescentam as eventuais regulamentações ambientais. Na prática, deve-se levar em conta também o fluxo das informações, suas ordens de serviços, controles de acesso, segurança operacional etc.

Quanto aos dados de energia, deve-se iniciar a coleta desde a entrada de energia elétrica na instituição, pelo processo de leitura pela concessionária e, depois, no sistema de distribuição, que pode variar de uma subestação até um quadro de distribuição com disjuntores.

Nesse levantamento de dados, inclui-se o sistema de iluminação interna ou externa, o sistema de equipamentos auxiliares, como compressores, geladeiras, micro-ondas, iluminação decorativa da empresa, iluminação da parte externa da empresa, cancelas, relógios de ponto, chuveiros, computadores, impressoras, carregadores de celulares, sistema de telefonia, bebedouros, ares-condicionados, bombas de recalque de água e até os maquinários que realmente agregam valor aos produtos.

### **3º Passo: Levantamento, registro e detalhamento das estações elétricas, seus comandos e informação sobre suas condições e procedimentos de operação**

Esse passo é o responsável pelo registro dos pontos de coleta e medição das grandezas elétricas e das informações do processo fabril propriamente dito. É a etapa de planejar cada ponto de medição de energia, respeitando as características, limitações e procedimentos de segurança setorial.

O quadro 6 abaixo propõe um cadastro dos equipamentos a ser monitorados, contendo a identificação física de cada equipamento, sua localização, a sequência de fluxo do processo fabril, as características dos motores, forma de acionamento, existência de banco de capacitores e iluminação. Essas informações fornecem uma perspectiva sobre os procedimentos de monitoramento, bem como sobre o tipo de equipamentos de medição a ser utilizados.

Quadro 6 – Cadastro dos equipamentos

Local	Setor/ Máquina	Tag	Identificação do Motor	Horas de Operação	Potência do motor em Cv	Variação da Carga (S) Ou (N)	Tensão de trabalho em Volts	Corrente elétrica em carga máxima

Fonte: elaborado pelo pesquisador.

Para cada equipamento cadastrado no quadro anterior (referenciado pela sua TAG), levanta-se a energia consumida na fabricação, categorizada em energia direta (ED) e energia

indireta (EI). A energia direta foi dividida em suas duas parcelas, energia teórica (ET) e energia auxiliar (EA), conforme proposto no método *Embodied Product Energy* (EPE), de Rahimifard, Seow e Child (2010). As informações foram são registradas em um quadro de categorização, como apontado abaixo:

Quadro 7 – Categorização das energias utilizadas nos processos.

Categorização das energias utilizadas nos processos							
TAG	ENERGIA DIRETA	%	ENERGIA DIRETA	%	ENERGIA TEÓRICA	%	ENERGIA AUXILIAR

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

#### 4º Passo: Desenhar um MVF do Estado Atual (sem a parcela de energia)

Nesse passo, são utilizados os ícones da MFV da ferramenta *Lean*, de forma individualizada, em cada parte do processo, e se averigua a existência de máquinas elétricas e iluminação. Para tanto, o caminho do fluxo do produto é percorrido e, ao mesmo tempo, realizam-se anotações preliminares para, depois, proceder às repetições e conferências dos apontamentos.

Nesse momento, ao coletar as informações para as caixas de processo, são acrescentados os dados pertinentes ao mapeamento. Tais dados se constituem no número de operadores, tempos de *setup*, disponibilidade, quantidade de motores existentes, descrição dos parâmetros elétricos a ser evidenciados etc. Destaca-se aqui que o mapeamento deve ter ênfase durante toda a ação do fluxo de transformação (agregando valor, ou não), desde a organização da matéria prima até a expedição para o cliente.

Interessa notar que esse processo conta com o cenário amplo (da empresa na sua totalidade) e não somente com os processos individuais, para melhorar o todo, evitando aperfeiçoar uma parte em detrimento da outra. Claro está que esse estudo busca otimizar os processos individuais (fundição, furação, pintura, inspeção, bombeamento, mistura, separação, etc.), mas sem perder de vista o foco na melhoria do fluxo de produção de maneira global.

No decorrer da realização desse passo, caso ocorra identificação de desperdícios de energia (máquinas em *stand by*, trabalhando em vazio etc.), as oportunidades de melhorias

devem ser anotadas e destacadas no mapa do estado atual, para, depois, serem inseridas no mapa de estado futuro.

#### **5º Passo: Fazer um levantamento das grandezas elétricas dos maquinários**

Nesse passo, são executados os procedimentos elaborados no passo 3, considerando-se o preenchimento dos espaços apontados no quadro 6, ali demonstrado.

Ressalta-se nessa etapa que alguns sistemas e/ou maquinários são complexos e elaboram várias atividades simultaneamente, tornando mais complexa a ação de determinar os parâmetros de cada motor. Para esses casos, aconselha-se registrar as grandezas dos maquinários por 24 horas, durante 30 dias, tendo como sugestão a utilização de *datalogger* (registradores programáveis).

#### **6º Passo: Finalizar o desenho do MFVE, caracterizando o fluxo de valor e o consumo de energia**

Nessa etapa, os dados coletados no passo anterior (nas planilhas, quadros, registros do *datalogger* etc) são agrupados e utilizados para finalizar o desenho do mapa de fluxo de valor, iniciado no passo 4. Assim, o mapa recebe a linha de energia na sua porção inferior, contendo os valores que agregaram e não agregaram valor. Tais valores são discriminados em energia direta (ED), energia indireta (EI), energia teórica (ET) e energia auxiliar (EA), conforme descrito no Quadro 7, apresentado acima, atendendo às recomendações de Rahimifard, Seow e Child (2010).

Nessa condição, uma vez completado o MFVE, os resultados obtidos são planejados, por meio dos quais o fluxo de produção e a relação de energia de cada processo são visualizados, assim como a totalização dos quatro formatos de energia, suas relações e a totalização energética de cada peça.

#### **7º Passo: Analisar o mapa e suas informações**

Preliminarmente, salienta-se que a caracterização do fluxo de valor x consumo da energia permite uma análise mais aprofundada dos processos que agregam valor, ou não, bem como das energias diretas e indiretas.

No momento desse passo, os procedimentos que alteram o processamento do maquinário, do setor, do quadrante, enfim, da indústria inteira, podem ser visualizados. Daí que a coexistência de ferramentas já tradicionais, como a troca rápida de sistemas pneumáticos por eletroímãs, apresentou-se inicialmente como contraponto, aumentando a energia direta; porém, evitou a utilização de compressores e linha de ar com muitos vazamentos e perdas de eficiência da energia elétrica em mecânica e, posteriormente, em pneumática.

Nesse caso, para revelar eventuais resíduos no processo, foi necessário dividi-lo em agregação de valor e não agregação de valor. A energia utilizada no momento de não agregação de valor foi considerada resíduo e, assim, foi eliminada, ou minimizada ao máximo.

Para aprimorar essa análise, foram utilizadas as métricas de eficiência de agregação de valor ( $\eta$ ) e razão de eficiência (ER), propostas, respectivamente, por Müller, Schillig e Stock (2014) e Rahimifard, Seow e Child (2010).

### **8º Passo: Elaborar o MFVE do Estado Futuro**

Todas, ou no mínimo uma parcela das oportunidades de melhorias identificadas no passo 7 foram registradas no desenho do MFVE do Estado Futuro. A partir desse novo cenário, as atividades que não agregam valor no processo são minimizadas. De forma sucinta, com a nova proposta, o MFVE do Estado Futuro deverá buscar redução da energia utilizada, sem alterar a proposta de produção do cliente.

Nessa fase, é necessária uma visão holística quanto à produção geral da empresa, para que as futuras alterações não provoquem reflexos naqueles setores já modificados pela execução de parte do plano de fluxo de valor do estado futuro. As ideias relacionadas a mudanças que surgirem no decorrer do percurso devem ser marcadas no mapa de estado Futuro.

### **9º Passo: Elaborar o Plano de Ação para implantação do MFVE do Estado Futuro**

Uma das formas de se implantar uma ferramenta de mapeamento é fazer a aplicação de um plano de ação, com um planejamento dos trabalhos a ser realizados, com prazos, autorizações e detalhamento do que se pretende, em detalhes.

Nesse caso, descreveu-se o plano, os indicadores e pontos de checagem que tomaram parte do processo de decisão, já que o mapeamento é uma ferramenta de comunicação, de planejamento de negócios, para gerenciar o processo de mudanças vinculado à aprovação do setor de suprimentos, no desenvolvimento do plano de implementação.

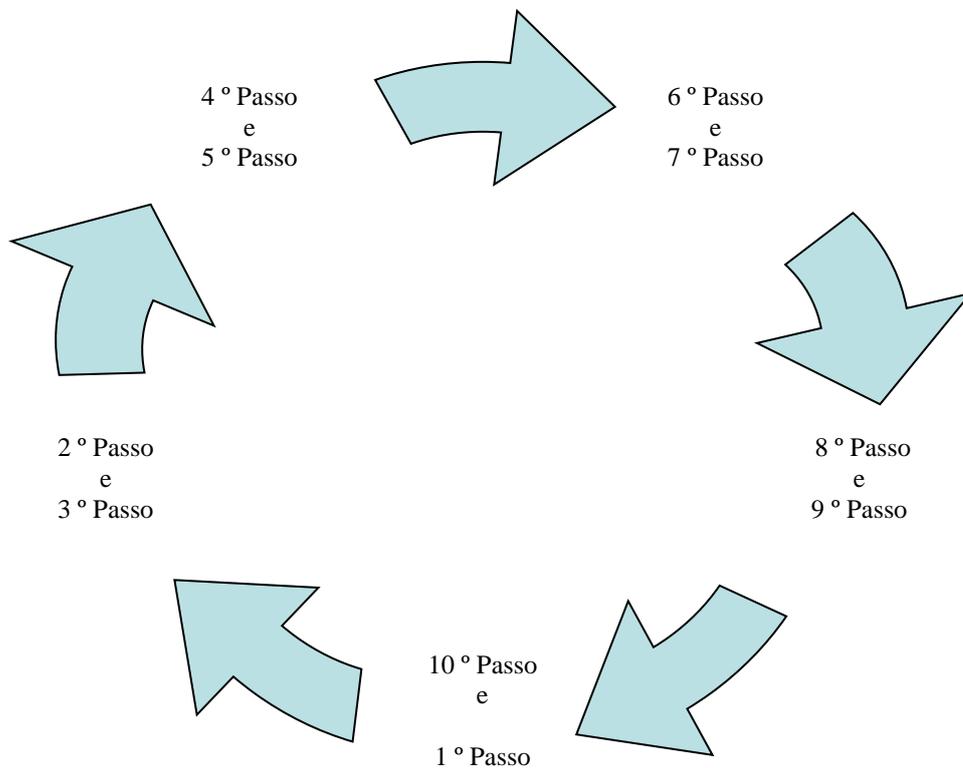
### **10º Passo: Mensurar os resultados da implantação do MFVE do Estado Futuro e a realização de um novo ciclo de melhoria**

Após realizado o plano de ação proposto no 9º passo, verifica-se se as ações planejadas e os resultados esperados foram alcançados. As novas leituras das grandezas elétricas, no novo estado do mapa, são refeitas. Em caso de sucesso, o processo deve ser reiniciado, partindo do novo estado atual, e as metas para um novo estado futuro devem ser traçadas.

Caso não haja obtenção de sucesso no plano de melhoria, deve-se elaborar uma reflexão sobre os motivos das inconformidades e utilizar esse resultado/aprendizado para a elaboração de ações assertivas, na próxima execução do protocolo.

A figura 17, a seguir, traz um resumo das etapas da aplicação do MFVE estendido, demonstrando se tratar de um ciclo que se repete indefinidamente, em um processo de melhoria contínua:

Figura 17 – Figura Epítome das etapas da aplicação MFVE



Fonte: Elaborada pelo pesquisador.

### 3.3 Análise dos dados

A análise de dados, segundo Yin (2001), refere-se ao tratamento das evidências obtidas, que requer atenção, de forma generalizada, em observar teorias de uma forma lógica.

No caso específico desse estudo, a análise é uma reordenação das informações encontradas, colocadas na apresentação padrão (mapeamento), para explicar as eventuais relações de produção, com destaque às ações que não agregam valor aos produtos, sob a ótica da eficiência energética.

Assim, ao recolher e analisar os dados na identificação dos desperdícios no processo fabril, com vistas a apontar as inconformidades na eficiência energética, com a utilização dos conceitos de Rahimifards e Seow (2011) e fundamentação na concepção de energia direta (ED), indireta (EI), teórica (ET) e auxiliar (EA), verificou-se que a relação entre os valores obtidos indicou locais com necessidade de aperfeiçoamento.

A obtenção desse diagnóstico não foi somente relacionada ao consumo de energia no processo e sua capacidade de transformação (agregar valor), mas também aos locais em que o consumo foi relativamente alto e não agregou valor ao produto.

Nessa pesquisa, utilizou-se o método de adequação ao padrão, que compara um padrão fundamentalmente empírico com outro, de base prognóstica, observando-se as coincidências e reforços quanto à validade interna do estudo de campo. É lícito notar que a adequação ao padrão consistiu em rastrear as atividades que agregaram valores ao produto, no processo fabril, com a utilização de maquinários e a conversão efetiva de toda a energia absorvida da rede em energia de transformação.

Dessa maneira, a coleta e a obtenção do levantamento de dados de um determinado equipamento deixaram o maquinário em processo de espera (Energia Indireta), por cerca de 50% do tempo. Em comparação, é como uma esteira rodando no vazio. Contudo, por outro lado, essa mesma esteira agrega valor ao processo nos outros 50% do tempo restante (Energia Direta), o que significa que existe algo para ser transportado.

Quanto ao levantamento de dados, ao comparar a energia direta com a energia indireta, verificou-se a ocorrência do fenômeno de valor agregado ao produto, o que significa que a razão está tendendo à pluralidade. Com isso, a base prognóstica vai estimar que a energia indireta deverá ser a menor possível.

Logo, considerando-se o exemplo da esteira, percebe-se que a análise lógica energética acaba por indicar duas possíveis soluções: a primeira consistiria no desligamento do motor da esteira, evitando que ela trabalhe sem carga, e quando surgisse a necessidade do transporte, ela poderia ser acionada instantaneamente, por um sensor de presença, alterando, assim, a relação ED/EI; a segunda estaria apoiada no fato de que, se houver algo a ser transportado, deve ser melhor reordenado, por conta do acúmulo e, posteriormente, do envio em lotes, sem que haja alterações nos índices operacionais.

Dessa maneira, pode-se dizer que a diferença entre a energia absorvida e a transformada se caracteriza como desperdício, após a utilização da técnica gráfica de mapeamento, em cada etapa do processo fabril, mantendo-se o objetivo de ser um

procedimento mais eficiente. Tal desperdício, no setor de produção, ou nas instalações de apoio, estão sintonia com a metodologia descrita por Asan, Kayakutlu e Keskin (2013).

Após a análise lógica, aplicou-se o método que permitiu construir um novo conjunto de dados, a partir de várias questões pontuais, estendidas para cada máquina, para se obter modelos uniformes de desperdício. Essa situação acabou por se tornar um estudo de multicasos (quando existem resultados de análises semelhantes, ou se produzem resultados contrastantes, apenas por razões previsíveis) e intercasos (quando existem resultados de análises diferentes), aumentando o poder de generalização das conclusões extraídas dos eventos estudados.

#### 4. A EMPRESA DO ESTUDO DE CAMPO

A empresa de saneamento da cidade de São José do Rio Preto possui a denominação de SeMAE, sigla para Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto, e foi criada pelo decreto n° 11.219, de 25 de setembro de 2001. É uma instituição que tem a competência para administrar os sistemas públicos de abastecimento de água potável (captação, adução, tratamento, reserva e distribuição de água) e de coleta, afastamento e tratamento do esgoto doméstico do município de São José do Rio Preto e distritos de Talhado e Engenheiro Schmitt.

Essa instituição ocupa uma área de 431,963, km<sup>2</sup>, e está localizada junto à bacia hidrográfica do Rio Grande, pertencendo à sub-bacia do Rio Preto, que banha a cidade, que está situada em uma altitude média de 489 metros. O serviço de abastecimento de água é feito pelo Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto (SeMAE), e existem 120 ligações prediais atendidas pela rede pública de distribuição, todas elas equipadas com medidores.

Com relação ao tratamento do esgoto da cidade, há a Estação de Tratamento de Esgoto, denominada ETE Rio Preto, situada no km 4,5 da rodovia estadual Délcio Custódio da Silva, SP 427, sentido São José do Rio Preto à cidade de Ipiranga, na zona rural da cidade, Estado de São Paulo, Brasil. A ETE Rio Preto ocupa uma área de 27,7 alqueires, na confluência do Rio Preto com o córrego São Pedro.

A ETE Rio Preto se tornou, desde que entrou em operação definitiva, em setembro de 2010, uma referência internacional no parâmetro de qualidade de tratamento de esgoto, e tem recebido visitas de técnicos e operadores de estações de outros pontos do país e de empresas multinacionais, interessados em conhecer os métodos adotados pelo município no tratamento do esgoto.

Interessa dizer que a premissa de operação de uma ETE é o seu funcionamento ininterrupto, visto que o efluente aporta à planta de forma ininterrupta, com variação somente da vazão de chegada, durante as vinte e quatro horas do dia, ao longo do ano. Contudo, a interrupção da operação pode ocorrer, por falta de produto para o tratamento (interrupção do aporte de efluente por rompimento dos emissários, ou interceptores); falha eletromecânica de equipamento; ou falta de energia elétrica para o acionamento dos motores.

Para lidar com essa condição, o projeto inicial da ETE Rio Preto contava com a instalação de geradores movidos a diesel, capazes de gerar até 1.500 kWh, visando às emergências. Porém, essa solução não foi implantada à época, pois a concessionária de

energia elétrica optou por instalar um alimentador expresso para o abastecimento da planta, com redundância de fonte, estimando ser suficiente para o abastecimento regular.

Como adendo, nota-se que a empresa de saneamento possui um contrato de fornecimento de energia elétrica com características especiais, por se tratar de atividade de salubridade: tem desconto de quinze por cento instituído por preceito legal e fornecimento contínuo, juntamente com a concessionária de energia.

Dessa forma, com o objetivo de minimizar a vulnerabilidade do sistema, constatou-se a necessidade imediata das auditorias de energia elétrica, não somente para atendimento das situações emergenciais, mas, também, como anteriormente proposto pelo plano de implantação da ETE, atingir a autossuficiência energética.

Assim, o processo de tratamento do resíduo sólido implantado na ETE Rio Preto consiste na desidratação do lodo digerido em decanter centrífugo, para a elevação do teor de sólidos totais de 1,5% para 20% do volume; desidratação complementar em estufas agrícolas, com elevação do teor de sólidos para 30% do volume e posterior disposição final em aterro sanitário. Como se verifica, todo o processo visa à redução do volume de transporte e disposição do lodo digerido, visto que, dependendo da distância do local de disposição final, os custos oneram sobremaneira a operação a ser realizada.

Quanto ao descarte final do lodo digerido, em meados do ano de 2010 o governo federal estabeleceu o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, por meio da Lei nº 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, que proíbe a disposição final em aterro sanitário, por ser resíduo passível de reaproveitamento.

#### **4.1 Características construtivas e operacionais da ETE Rio Preto**

A concepção do Sistema de Tratamento de Esgoto da ETE Rio Preto foi concluída e definida no início de 2003, com a entrega dos estudos de processos de tratamento e o Relatório Ambiental Preliminar (RAP), pela Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial (FIPAI – USP). Posteriormente, durante os anos de 2004 e 2005, foram concluídos os chamados projetos básico e executivo. Em seguida, foi realizada a licitação para a construção da obra, iniciada em junho de 2006. As obras civis e montagem dos equipamentos terminaram e foram entregues em dezembro de 2008.

Na sequência, em janeiro de 2009, foram iniciadas as fases de comissionamento dos equipamentos e pré-operação, período em que a construtora e o SeMAE participaram, conjuntamente, das atividades operacionais e, finalmente, em setembro de 2010, o operacional

da ETE foi totalmente entregue para o SeMAE, cabendo a esse, desde então, a operacionalização e manutenção do sistema.

Com relação a sua construção, a ETE Rio Preto foi planejada e projetada para ser construída em duas etapas, sendo que somente a primeira (Figura 18) tem capacidade de tratamento para:

- População: 438.000 habitantes;
- Vazão média anual: 1.005 l/s;
- Vazão máxima horária: 1.650 l/s;
- Carga orgânica: 29.400 kg DBO<sub>5</sub>/dia

Figura 18 – Estação de Tratamento de Esgoto Rio Preto



Fonte: Elaborada pelo pesquisador.

Na configuração final, ao final da segunda etapa, a capacidade de tratamento é para ser de todo o esgoto coletado na cidade, até o ano 2034.

Esse processo de tratamento consiste na associação de dois tipos de procedimento: o anaeróbio e o aeróbio. O sistema de tratamento anaeróbio é formado por reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), ou RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente), que utilizam bactérias anaeróbias para a degradação da matéria orgânica. Já o sistema aeróbio é composto por tanques de aeração, associados a decantadores secundários e estações

elevatórias de recirculação de lodo, que utilizam a ação das bactérias aeróbias para realizar a degradação da matéria orgânica resultante do efluente dos reatores UASB.

Esse tipo de associação de procedimentos permite uma eficiência de tratamento na ordem de 92% a 95%, sendo que, atualmente, a margem de alcance da eficiência é de 98% de remoção da carga orgânica, medida em kg de  $DBO_5^2$ .

Sendo assim, na 1ª etapa da construção da ETE Rio Preto, encontravam-se implantadas, para a realização do tratamento do esgoto, as seguintes unidades:

- **Gradeamento grosseiro:** completamente implantado para a final de plano, é composto por duas grades mecanizadas, cuja função é retirar o material de maior volume, tais como garrafas PET, madeiras, plásticos, borrachas, cerâmicas, estopas, dentre outros.

- **Estação Elevatória de Esgoto Bruto:** completamente implantada para a final de plano, é composta por três conjuntos de moto-bombas, sendo uma de reserva, responsável pelo bombeamento de esgoto bruto, gradeado para as unidades seguintes, para então seguir por gravidade até o final do processo de tratamento (Figura 19):

Figura 19: Casa das bombas da ETE Rio Preto (estação elevatória)



Fonte: elaborada pelo pesquisador.

- **Tratamento Preliminar:** completamente implantado para a final de plano, é composto pelo gradeamento fino, com três grades mecanizadas; uma calha Parshall para

---

<sup>2</sup> Determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio. A  $DBO_5$  é um teste padrão, realizado durante um período fixo de incubação de cinco dias, a uma temperatura constante (Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/determinacao-da-demanda-bioquimica-de-oxigenio-dbo/>. Acesso em 09.dez.2019).

medição de vazão e dois desarenadores. O sistema de tratamento preliminar realiza a retirada dos materiais que não ficaram retidos no gradeamento grosseiro.

- **Caixa distribuidora de vazão:** já completamente implantada, é composta por quatro comportas, que fazem a distribuição da vazão para os reatores UASB.

- **Dosagem de soda:** já completamente implantada, é composta por dois tanques de armazenagem de soda e duas bombas dosadoras de soda, e é responsável pela correção de pH do esgoto, na eventualidade de ele estar relativamente ácido (abaixo de 6,0).

- **Reatores UASB:** são compostos por três módulos de quatro reatores cada, e compõem o sistema de tratamento anaeróbio, em que se descartam dois dos principais resíduos de uma ETE, o lodo e o biogás.

- **Queimadores de gás:** estarão completamente instalados para a final de plano, e realizam a queima do biogás gerado nos reatores UASB.

- **Tanques de aeração e sopradores:** compostos por três tanques de aeração, compõem o sistema de tratamento aeróbio, em que se insufla ar no esgoto, por meio de sopradores mecânicos excêntricos multiestágios, a partir de difusores (Figura 20):

Figura 20: Soprador Excêntrico Multiestágio.



Fonte: elaborada pelo pesquisador.

- **Decantadores:** compostos por três unidades que realizam a função de separação entre o efluente (esgoto tratado) e o lodo aeróbio.

- **Estação Elevatória de Recirculação de Lodo:** com duas moto-bombas instaladas, sendo uma reserva, desempenha o papel de recircular parte do lodo decantado para o início do tratamento aeróbio (tanques de aeração).

- **Estação Elevatória de Lodo Excedente:** completamente instalada para a final de plano, composta por três moto-bombas, sendo uma reserva, bombeia parte do lodo decantado para o início do tratamento anaeróbio (reatores UASB), donde, após sua estabilização, será descartada para a desidratação.

- **Pós-aeração e contato:** completamente instalada para a final de plano, composta por dezesseis aeradores de superfície e dosadora de cloro, etapas em que o efluente é polido, com desinfecção (casa de cloração) e aeração adicional, se necessário, para atendimento às legislações ambientais.

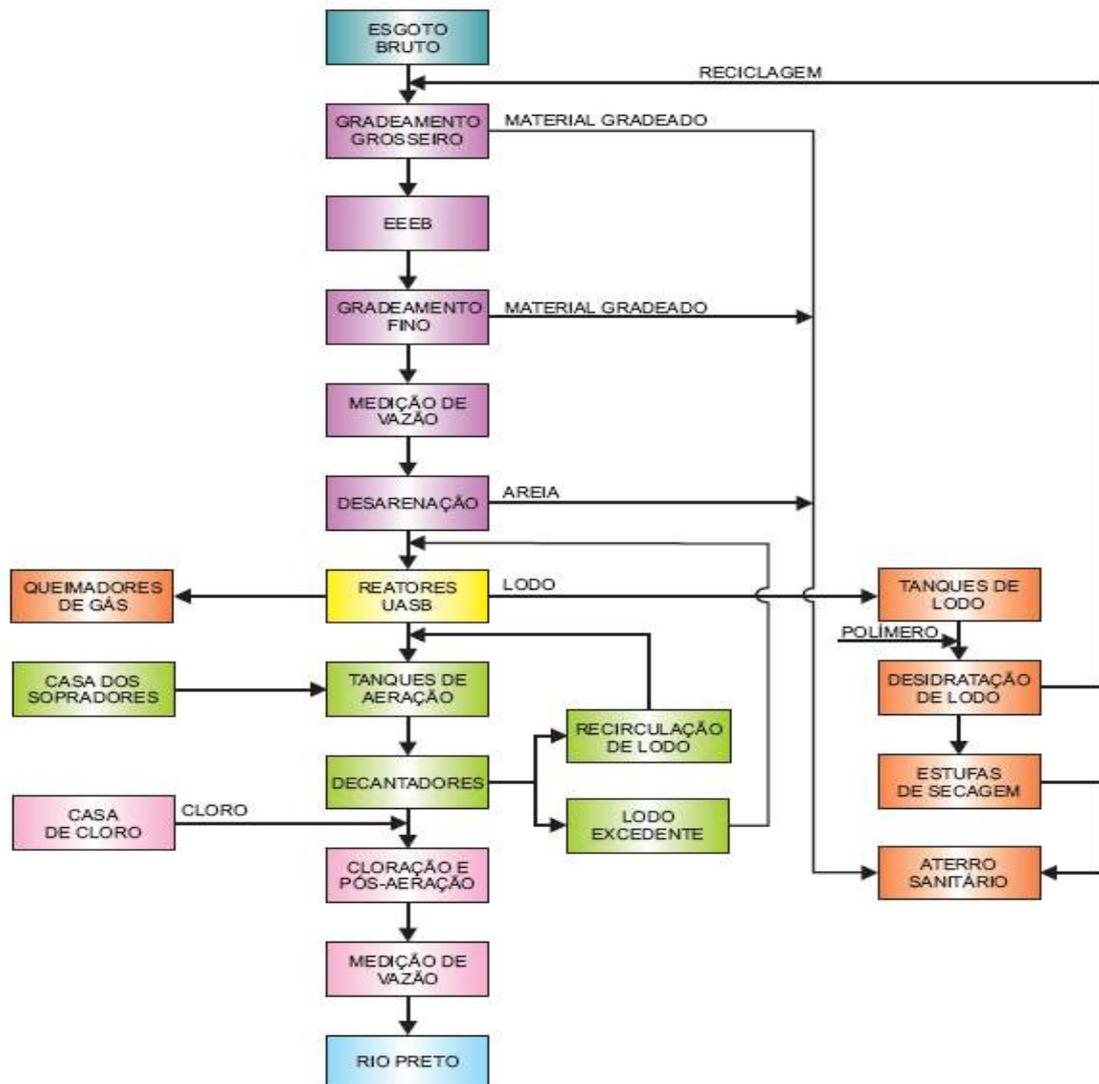
- **Casa de desidratação de lodo:** composta por dois decanter centrífugos, têm a função de produção de torta de lodo, com concentração mínima de 20% a 25 % de sólidos.

- **ETA de serviço:** desempenha a função de produzir água de serviço, a partir do efluente tratado da ETE Rio Preto.

- **Estufa agrícola:** com três módulos instalados, foi construída para a obtenção de lodo desidratado, com teor mínimo de sólidos de 30%.

Isso posto, apresenta-se, a seguir, na figura 21, o fluxograma macro do tratamento de esgoto implantado na ETE Rio Preto:

Figura 21 – Fluxograma macro do tratamento de esgoto ETE Rio Preto - Atual



Fonte: elaborada pelo pesquisador.

## 5. RESULTADOS E ANÁLISES DOS DADOS

O objetivo dessa pesquisa consiste em averiguar se a implantação do sistema de mapeamento de fluxo de valor de energia (MFVE), em um tratamento de esgoto, possibilita a melhoria na eficiência energética, tendo como objetivos específicos a) identificar os fatores que influenciam a implantação do MFVE; b) validar procedimentos de obtenção da eficiência energética na implantação do MFVE; c) registrar os procedimentos de implantação para verificar se suprem a lacuna.

Nesse sentido, para o cumprimento desses objetivos, foi proposta a utilização de um protocolo de pesquisa (Quadro 07, seção 3), com 10 passos para a aplicação da ferramenta de mapeamento de fluxo de valor de energia e avaliação das ações, com vistas à melhoria da eficiência energética.

Sendo assim, encaminhou-se para a coleta de dados, obtidos diretamente no campo, “no chão de fábrica”, com observação da individualidade de cada setor do processo, bem como da sua totalidade e funcionamento.

Após coletados, esses dados foram analisados a partir da concepção de Yin (2001), para quem, de forma geral, a análise é o tratamento das evidências obtidas, a parte que requer maior concentração. No caso específico desse estudo, a análise correspondeu a uma reordenação das informações encontradas, colocadas na apresentação padrão (mapeamento), com explicação das eventuais relações de produção e destaque para as ações que não agregam valor ao produto, sob a ótica da eficiência energética.

Dessa forma, na identificação dos desperdícios no processo fabril, do qual os dados foram extraídos, foram utilizados os conceitos de Rahimifard, Seow e Child (2010) sobre energia direta (ED), indireta (EI), teórica (ET) e auxiliar (EA), cujas relações, ou razões de eficiência (ER) podem apontar para inconformidades na eficiência energética e indicar locais com necessidade de melhora.

Diante disso, no levantamento dos dados, ao se comparar a energia direta com a indireta, verificou-se a porcentagem da energia gasta no fenômeno que agregou efetivamente valor ao produto, indicada como razão de eficiência.

Após a análise lógica, aplicou-se o método do MFVE, que permitiu construir um novo conjunto de dados, a partir de várias questões pontuais, estendidas à cada máquina, para se obter modelos uniformes dos possíveis desperdícios, com verificação dos resultados e de sua relação com o objetivo pretendido de melhoria da eficiência energética.

## 5.1 Confirmação do Protocolo

O quadro 8 apresentado abaixo traz um resumo dos principais resultados alcançados, em cada um dos dez passos do protocolo da pesquisa:

Quadro 8: Exposição dos passos da MFVE.

Exposição dos passos da MFVE		
Passos	Procedimentos planejados	Descrição das ações executadas
1 ° Passo	Definir o processo e/ou operação que passará pelo MFVE	Definiu-se pela Estação de Tratamento na totalidade.
2 ° Passo	Fazer um diagnóstico em todas as partes da empresa;	Mesmo já conhecendo as instalações, toda a estação foi percorrida, para o completo conhecimento dos processos.
3 ° Passo	Levantar, registrar e detalhar as estações elétricas, seus comandos e informação sobre suas condições e procedimentos de operação;	O levantamento das estações elétricas de comando e informações foi detalhado, registrado e elaborado.
4 ° Passo	Desenhar um MVE do Estado Atual (sem a parcela de energia);	Desenhou-se o mapa como se fosse o mapa de fluxo de valor convencional, ou seja, somente o fluxo de materiais e de informações. Da parte elétrica, foram indicadas somente as potências instaladas dos motores, em cada uma das caixas de processo.
5 ° Passo	Fazer um levantamento das grandezas elétricas dos maquinários;	Seguindo as orientações do 3° passo, as medições das grandezas elétricas dos equipamentos foram executadas, confirmando que as medidas foram válidas, sem nenhuma inconformidade.
6 ° Passo	Finalizar o desenho do MFVE, caracterizando o fluxo de valor e o consumo de energia;	O MVE do 4° passo foi transformado em um MFVE, a partir da inserção da linha de energia, com os registros das grandezas elétricas e indicação do percentual das que agregam valor, ou não.
7 ° Passo	Analisar o mapa e suas informações;	A partir do MFVE, foi realizada uma análise das possibilidades de melhoria, com indicação do processo de sopradores.
8 ° Passo	Elaborar o MFVE do Estado Futuro;	Identificaram-se as oportunidades de melhoria no MFVE do Estado Futuro.
9 ° Passo	Elaborar o Plano de Ação para implantação do MFVE do Estado Futuro;	- Foram apontadas as possíveis melhorias, com registro dos tempos de execução das divisões de tarefas, custos, recursos financeiros, retornos financeiros, processo de compras, execução das substituições propostas, partidas inaugurais e levantamento das novas grandezas elétricas e seus percentuais de agregar valores, ou não. - O plano de ação de melhoria foi elaborado, vinculando-se o indivíduo, ou grupo de indivíduos que realizou cada atividade com seus respectivos prazos e divisão de trabalhos.
10 ° Passo	Mensurar os resultados da implantação do MFVE do Estado Futuro e a realização de um novo ciclo de melhoria.	Houve a medição para a obtenção dos resultados, com a implantação do mapa futuro/realização do novo ciclo de mapas (Figura 11, parte 3) - Davies e Van der Merve (2016).

Fonte: elaborado pelo pesquisador.

Como se vê, o quadro 8 traz uma apresentação resumida das ações executadas, na sua relação com os procedimentos planejados para cada um dos dez passos do protocolo de pesquisa. O objetivo desse quadro é exatamente apresentar uma visão global e condensada dos principais resultados e ganhos alcançados com o desenvolvimento do trabalho.

Na sequência, como extensão do referido quadro, segue-se o detalhamento dos passos realizados e seus resultados, com apresentação de fotos e figuras:

### **1º Passo: Definir o processo e/ou operação que passará pelo MFVE**

A proposta desse primeiro passo é definir um recorte nos processos da empresa, para aplicar a ferramenta de mapeamento. Tais processos são aqueles pelos quais uma determinada família de produtos passa (escolhida a partir de critérios da própria empresa). Contudo, no caso dessa pesquisa, existe somente um tipo de produto e uma única linha de processamento. Assim, decidiu-se aplicar o mapeamento em toda a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), com a identificação de todos os possíveis pontos com necessidade de melhorar a eficiência energética.

### **2º Passo: Fazer um diagnóstico em todas as partes da empresa**

Nesse passo, a proposta principal é procurar compreender a integridade dos processos, percorrendo a planta e analisando as documentações e desenhos. Nesse trabalho, a ETE foi percorrida por completo, para o total conhecimento dos processos, sua operacionalidade e suas características técnicas.

### **3º Passo: Levantar, registrar e detalhar as estações elétricas, seus comandos e informação sobre suas condições e procedimentos de operação**

Nesse passo, foi realizado o levantamento das antigas contas de energia elétrica, registros de ultrapassagem nos contratos de fornecimento e detalhamento das instalações elétricas propriamente ditas: ligações com a concessionária de energia, tipo de fornecimento, horários com custos reduzidos, estações elétricas e seus dispositivos de segurança e proteção, normas internas de segurança, seus comandos e informações sobre as condições/procedimentos de acionamento.

Nessa etapa, em visita à Central de Controle de Operações (CCO), foram levantadas informações mais detalhadas sobre a instalação elétrica da planta, tais como o número de subsistemas, o responsável pelo acionamento de cada subsistema e seus componentes, informações sobre a manutenção de cada subsistema e seus componentes (onde, quando e

como tais sistemas são desligados), localização dos quadros de comando, comunicação entre sistemas, proteção elétrica junto ao sistema supervisorio, dentre outras.

Com isso, foi possível realizar um cadastro completo dos equipamentos a ser monitorados, cujas informações foram preenchidas no quadro 9, apresentado a seguir:

Quadro 9: Cadastro dos equipamentos preenchidos os quais serão levantados os dados.

Local	Setor/ máquina	Tag	Identificação do motor	Horas de operação	Potência do motor em CV	Variação da carga (s) ou (n)	Tensão de trabalho em volts	Corrente elétrica em carga máxima
EEB	Elevação esgoto bruto	BEE01	Bomba 1	10 h/dia	650 CV	Variação de carga e variação velocidade	440 volts	893 ampères
SOP	Soprador	SP02	Soprador 2	24 h/dia	475 cv	Variação de carga sem variação velocidade	440 volts	470 ampères
SOP	Soprador	SP03	Soprador 1	24 h/dia	475 cv	Variação de carga sem variação velocidade	440 volts	470 ampères

Fonte: elaborado pelo pesquisador.

Como forma de ilustração, a figura abaixo (Figura 22) mostra a placa de informações técnicas de um motor elétrico do equipamento identificado pela TAG : EEEB 01:

Figura 22: Foto da placa de identificação dos motores da EEEB 01



Fonte: elaborado pelo pesquisador.

#### **4º Passo: Desenhar um MVF do Estado Atual (sem a parcela de energia)**

Nesse passo são registrados os valores das energias direta, indireta, teórica e auxiliar. Além disso, é desenhado o local em que as informações serão anotadas, já que o MFVE é elaborado parcialmente, sob o critério das informações elétricas.

Inicia-se o desenho do mapa do Estado Atual com o item controle de operações, para saber como é o controle das vazões de esgoto que chegam à Estação de Tratamento, cada etapa do subsistema, suas denominações, quantidade de motores instalados, potência dos equipamentos instalados, tensão de trabalho e correntes elétricas a ser observadas.

Igualmente, suas divisões internas, incluindo as partes que, desligadas, não interferem no tratamento do esgoto, os melhores locais para se instalar os equipamentos de medições das grandezas elétricas, locais para a eventual necessidade de outros equipamentos para realizar as medições, como o uso de Equipamento de Proteção Individual (EPI) e indicação da necessidade de acompanhamento de eletricitista para a instalação dos medidores com registradores (Datalogger).

#### **5º Passo: Fazer um levantamento das grandezas elétricas dos maquinários**

Com as informações obtidas no 3º e 4º passos, houve a elaboração da proposta de levantamento das grandezas elétricas, em sintonia com a Central de Controle de Processos, que autoriza o desligamento total do equipamento, seus elementos de proteção e acionamento do registrador, assim que o equipamento recebe energia, ou mesmo inicia o processo de medição com carga. Como a proposta de medições para a ETE foi elaborada por completo, foram realizadas medições simultâneas, em alguns momentos.

A figura 23, na sequência, apresenta uma foto do equipamento utilizado para efetuar a medição das grandezas elétricas do equipamento soprador 002, e a 24, o gráfico desse monitoramento.

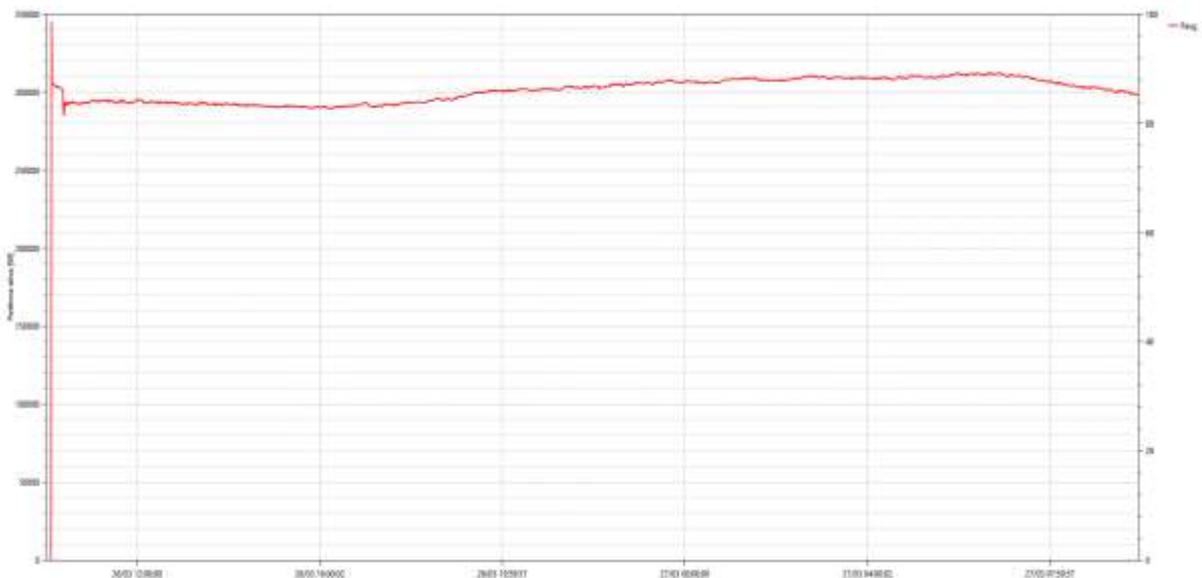
Nesse caso, as informações são lidas continuamente, durante um determinado período de tempo (alguns dias, ou semanas), e, depois, analisadas, para levantamento dos dados elétricos.

Figura 23: Fotografia das instalações dos registradores do soprador 002



Fonte: elaborada pelo pesquisador.

Figura 24: Levantamento das grandezas elétricas do soprador 002

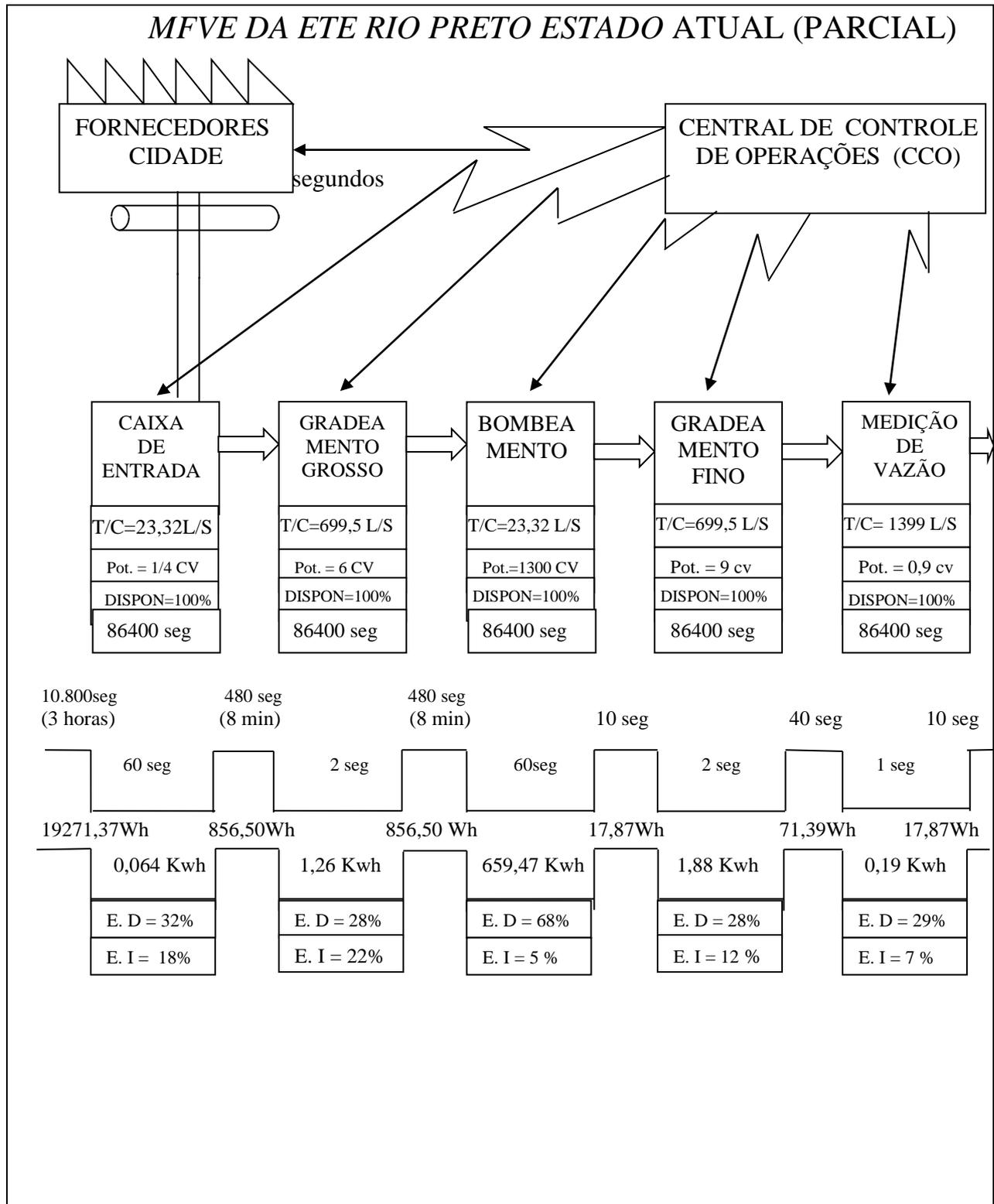


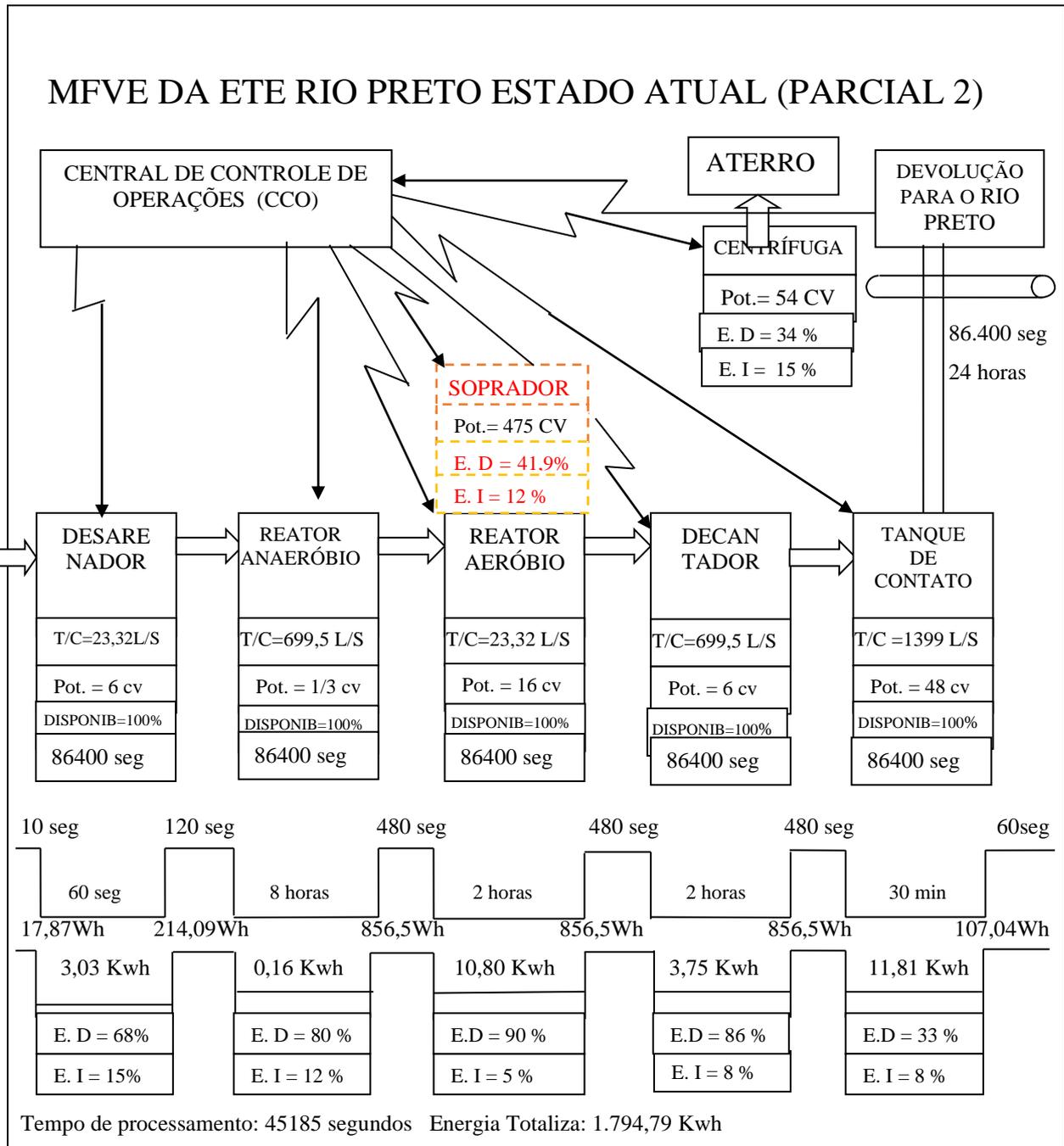
Fonte: elaborada pelo pesquisador.

**6 ° Passo: Finalizar o desenho do MFVE, caracterizando o fluxo de valor e o consumo de energia**

Nesse momento ocorre a finalização do MFVE, originado do MFV desenhado no 4º passo, incluindo-se as linhas de energia, com as informações elétricas adquiridas no 5º passo, conforme indica a figura 25:

Figura 25 – Mapeamento de fluxo da ETE Rio Preto Estado Atual





Fonte: elaborada pelo pesquisador.

No que se refere à construção do MFVE, algumas observações são necessárias, como a de que a empresa na qual o estudo de campo se desenvolveu desempenha suas atividades em processo contínuo, havendo fluxo do esgoto por gravidade. Assim, os tempos pelos quais o esgoto passa pelo subsistema estão definidos desde o projeto de construção da ETE. O controle de vazão se modula em função do esgoto que chega, de forma que a porcentagem de tempo que agrega valor, em relação a que não agrega é mantida sob constância para cada subsistema.

No caso, o parâmetro T/C (tempo de ciclo) foi adaptado para representar o volume em um segundo, ou a vazão volumétrica do processo em execução. Diante dos inúmeros sistemas, não foi possível medir diretamente esses valores, devido ao fato de não existir condições físicas nesses locais, e o distanciamento para instalar os medidores de vazões portáteis ser muito pequeno. Assim, foi adotado o valor teórico de projeto, para ajudar na compreensão do processo como um todo.

No que concerne ao parâmetro de potência, sua indicação é a da potência total instalada no processo, em unidades de cavalos, considerando-se todos os motores e outros dispositivos associados ao ponto do fluxo.

Complementarmente, o parâmetro da disponibilidade representa a porcentagem do tempo em que o recurso de tratamento estava em plenas condições de operação. Nota-se que em todos os casos do mapa a disponibilidade foi apontada como sendo igual a 100%. Esse valor se justifica pela existência dos diversos sistemas de redundância no processo, o que proporciona a confiabilidade no sistema.

Como exemplo, tem-se o processo de bombeamento, que conta com três bombas instaladas e uma de reserva (sem instalar). Em outro caso, existem cinco unidades de sopradores no sistema, quando se utiliza no máximo dois, o que permite elaborar a manutenção periódica e programada sem afetar os sistemas no todo e sua plena disponibilidade.

Além do mais, verifica-se que o mapa indica a questão dos tempos de agregação e não agregação de valor, que foram medidos a partir do método proposto nessa pesquisa, por meio do qual, utilizando-se um cronômetro digital, com inserção de tampas coloridas de refrigerante em cada um dos pontos dos canais de fluxo, foi possível acompanhar o movimento ao longo dos processos e estabelecer os instantes de entrada e saída, de cada ponto.

De posse desses dados, foi possível, então, calcular os tempos de processo (de agregação de valor) e de transição entre processos (não agregação de valor). O método de medição foi repetido com 8 a 10 tampas em cada ponto do processo, para se estabelecer um valor médio, utilizado para compor o mapa de fluxo de valor.

No que se relaciona aos valores da linha de energia, a obtenção foi a partir de dois métodos. Para os valores de energia consumida que não agregam valor ao processo (indicados nas porções altas da linha de energia), foram considerados o consumo devido à iluminação do pátio. No caso, a estação possui 96 luminárias de *led* de 250 W, em sua totalidade, responsáveis pela iluminação no horário noturno. Assim, o consumo de energia foi dividido

proporcionalmente ao tempo, o que acarreta que tempos maiores de espera ganhem maior contribuição.

Na mesma medida, os valores de energia consumida que agregam valor (indicados nas porções baixas da linha de energia) foram obtidos diretamente com os medidores de grandezas elétricas, conforme demonstrado na figura 23. Para a maioria dos casos, esses valores correspondem ao consumo de motores elétricos, responsáveis pelas ações de bombeamento, movimentação mecânica, soprador etc., e foram considerados de energia total, sendo indicados na porção de agregação de valor da linha de energia.

Quanto ao consumo total, importa registrar que foi estratificado nas parcelas de energia direta e indireta, conforme proposta de Rahimifard, Seow e Child (2010). Para realizar essa estratificação, os motores foram desacoplados do processo, e a energia residual correspondente ao consumo da ventilação interna foi medida, ainda em perdas mecânicas, e os valores resultantes foram considerados como energia indireta. Já a subtração da energia total pela energia indireta resultou na parcela associada à energia direta.

Por fim, verifica-se que os valores de energia total indicados pelo medidor de grandezas elétricas e consumidos nominalmente no processo representam apenas uma parcela da potência instalada em cada ponto. Essa potência extra instalada é necessária somente durante a partida dos motores, o que permite a aceleração de toda a inércia a eles acoplada. Após atingirem as rotações nominais, as potências e respectivas energias consumidas pelos motores caem para os valores indicados no mapa.

### **7º Passo: Analisar o mapa e suas informações**

Para atender a esse passo, foi elaborada uma extensa análise do MFVE, a partir de uma reflexão sobre os valores obtidos com as medições.

Como considerações, tem-se que o percentual entre a energia agregada e a não agregada se alterna muito em função da utilização do equipamento. Mas na área de tratamento de esgoto, em que se utilizam os reatores UASB, existem dois subsistemas em que o percentual do EAV/ENAV<sup>3</sup> se destaca: os sopradores e o gradeamento. Nos sopradores existem variáveis que necessitam de constante monitoramento, por causa do equilíbrio da vazão de ar e a necessidade do tratamento. Além disso, ainda há perdas de cargas do fluxo de ar nos elementos de filtragem, na admissão do ar a ser comprimido e nas membranas de saída.

---

<sup>3</sup> Energia de valor agregado/Energia de valor não agregado.

Dessa maneira, conhecendo-se o ponto de vista da operacionalidade do fluxo contínuo do tratamento, foram feitas análises, após a elaboração do mapa atual, que permitiram identificar o primeiro ponto de aplicação da ferramenta proposta.

Com isso, durante a análise da aplicação do MFVE e o levantamento dos dados, observou-se que, no gradeamento fino, o sistema de limpeza se mantinha em operação contínua, ou seja, consumia energia durante as 24 horas do dia. Sendo assim, surgiu a oportunidade de se aplicar as recomendações da EPA (2007a) quanto a identificar as máquinas que permanecem funcionando (ligadas), mesmo não estando em operação (agregando valor). Para tanto, foi elaborada uma proposta de acionar o equipamento somente diante da necessidade.

Então, um sensor de nível foi instalado no tanque de acesso ao gradeamento e se verificou que, quando a sujeira começava a interferir no fluxo natural, o nível aumentava e atingia um limite crítico pré-determinado. Nesse momento, os motores foram acionados e promoveram a limpeza do gradeamento, abaixando o nível no tanque.

Com essa ação, o tempo de acionamento dos motores foi reduzido de 24 horas para cerca de 4 a 5 horas por dia, o que diminuiu o consumo desse ponto do processo em cerca de 80%. Contudo, como a potência instalada nos maquinários é de apenas 9CV, a redução proporcionada em relação ao consumo global da estação se mostrou desprezível. O mapa futuro indica os valores após redução, conforme registrado no próximo passo.

Nessa situação, uma segunda tentativa de melhoria da eficiência energética foi planejada, a partir da Demanda Química de Oxigênio (DQO), na entrada e saída do tratamento, por um período de 308 medições diárias, de modo a analisar a eficiência de tratamento e a redução do consumo energético.

Entretanto, tais medidas apontaram uma estabilidade da qualidade do esgoto, alterada apenas devido a flutuações de ocorrência de chuvas, que contribui para a diluição dos esgotos e alterações na relação Kwh/m<sup>3</sup>. A obtenção desses índices não contribuiu com a proposta do MFVE, mas delimitou a qualidade do esgoto tratado antes e depois da intervenção proposta pela ferramenta.

Como finalização, após a análise dos valores de energia direta, indireta e total de cada processo, o foco foi direcionado para os dois maiores consumidores de energia no sistema de tratamento: o sistema de recalque de esgoto bruto (bombeamento) e o sistema de aeração, por meio dos sopradores.

Nesse contexto, o sistema de bombeamento é o maior consumidor de potência instalada na ETE e se tornou, portanto, um ponto prioritário de ação, tendo em vista que qualquer ganho de eficiência nesse processo resultará em um retorno significativo.

Na prática, evidencia-se que os motores utilizados atualmente para o recalque são os convencionais, ou seja, trifásico de indução assíncrono, de rotor tipo gaiola de esquilo. Para um ganho de eficiência, buscou-se por motores melhores, como os dotados de ímã permanente, de operação síncrona e rotação nominal mais alta.

No entanto, há outros requisitos importantes que viabilizariam uma proposta de substituição para o sistema de bombeamento: a potência equivalente à atualmente instalada (1300cv) e a posição vertical de operação. No caso, após consulta a três fabricantes, não se constatou que seria uma solução tecnicamente viável.

Como consequência, começou-se o investimento no segundo processo de maior consumo de energia: os tanques de aeração. Como a quantidade de oxigenação depende da qualidade do esgoto a ser tratado, e esse valor se altera em função de vários fatores (temperatura, volume, pH, nitrogênio), aplica-se operacionalmente uma produção de ar comprimido nos tanques aeróbios, para minimizar a produção de nitrato no efluente, tendo como consequência a produção de excedente de lodo, solucionável por controle com sonda de amônia ou de oxigênio.

A isso se acrescenta que, na empresa do estudo de campo, existem quatro tanques de aeração, que operam com ar difuso, por difusores de bolhas finas, do tipo de membranas flexíveis, e são alimentados com ar comprimido, proveniente de uma Casa de Sopradores situada ao lado dos tanques de aeração, como demonstrado anteriormente na Figura 18.

Nesse panorama, os quatro sopradores instalados, modelo 500.06 do fabricante *Continental Industrie*, são capazes de fornecer até 11.520 Nm<sup>3</sup>/h, pressão de até 7,5 m.c.a., e são movimentados por motores de indução de 475CV (355 kW), visando a atender um consumo de oxigênio de 600 kgO<sub>2</sub>/h. Além disso, esse sistema opera por 24 horas diárias, com revezamento dos sopradores instalados.

Diante disso, a proposta de melhoria se encaminhou para um processo de modernização do soprador, com a aquisição e instalação de turbocompressores de alta tecnologia, capazes de produzir a mesma quantidade de ar, com menor potência instalada.

Assim, os motores elétricos assíncronos, trifásicos, rotor de gaiola de esquilo e frequência de operação de 60 Hz foram substituídos por um motor trifásico síncrono de ímã permanente, que atinge a rotação nominal de 25.000 rotações por minuto e utiliza mancais magnéticos para redução substancial do atrito dos mancais.

Outrossim, utilizou-se ainda um inversor de frequência, para variabilidade na vazão da oxigenação, para o caso de haver variação no fluxo de tratamento, o que vem ao encontro da proposta MFVE, relacionada à agregação do montante correto de energia demandado pelo processo e consequente minimização dos desperdícios.

O quadro 10, na sequência, apresenta os valores de energia do sistema original dos sopradores:

Quadro 10 – Categorização das energias utilizadas nos processos dos sopradores

Sistema de sopradores originais (355 kW) x 1 hora	
ENERGIA	
Direta (Agrega valor)	Indireta (Medição das grandezas elétricas com motor em vazio)
Controle de vazão por abertura de válvula, controle por registro do tipo basculante.	Aquecimento/ Ventilação/ Ruído/ Medição
41,9 %	12%

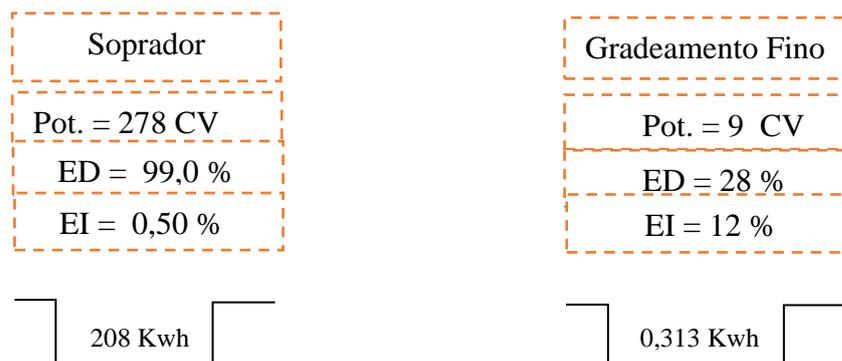
Fonte: elaborado pelo pesquisador. .

Nesse encadeamento, a mudança final proposta foi a instalação de dois turbocompressores modelo da Sulzer, totalizando cinco máquinas, com variação de vazão de 6.300 N.m<sup>3</sup>/h a 12.100 N.m<sup>3</sup>/h, para pressão de 7,5 m.c.a. e temperatura de 25°C, chegando à variação máxima de potência de 167,5 kW a 300 kW, com a utilização dos mancais magnéticos. Como consequência, houve uma redução da potência utilizada de 355 kW para 208 kW.

#### 8º Passo: Elaborar o MFVE do Estado Futuro

Nesse passo, as propostas discutidas até esse momento foram registradas no MFVE do Estado Futuro, cuja principal alteração se apresenta destacada na figura 26:

Figura 26 – Alteração proposta para o MFVE do Estado Futuro



Fonte: elaborada pelo pesquisador.

### **9 ° Passo: Elaborar o Plano de Ação para a implantação do MFVE do Estado Futuro**

Nessa etapa, a proposta do MFVE do Estado Futuro foi registrada junto à equipe de trabalho e administração superior da empresa, com informações sobre o plano de implantação: tempos de execução, divisões e responsáveis pelas tarefas, custos, recursos e retornos financeiros, processo de compras, execução das substituições propostas, equipe de engenharia e partidas inaugurais.

### **10° Passo: Mensurar os resultados da implantação do MFVE do Estado Futuro e a realização de um novo ciclo de melhoria.**

Nesse passo, buscou-se a mensuração dos resultados da implantação do mapa futuro e realização de um novo ciclo de mapas.

As instalações demoraram cerca de 80 dias, e contaram com adequações, tais como a retirada e desmontagem do antigo soprador Continental modelo 500.06, adequações na base de concreto do novo soprador (necessidade de cura de sete dias), abertura de valas de passagem para os cabos de alimentação elétrica, grades de proteção, adequações no quadro de acionamento dos turbocompressores, serviços de reprogramação dos supervisórios, adequações nas tubulações, válvulas e instalação de cabines de isolamento acústico.

Depois disso, foi realizada a partida inaugural e os testes de produção, pressão e os trabalhos associados aos antigos sopradores, com registros dos novos dados.

Nessa lógica, realizaram-se as medições dos novos sopradores, conforme demonstrado no quadro 11, medindo-se individualmente a vazão do ar injetado nos tanques de aeração de cada soprador, com modulação da frequência do inversor de 450 Hz para 520 Hz, assim como da potência, de 130,8 para 299,5 KW. Como resultado, apresentou-se o comportamento espelhado dos dois sopradores e uma pequena variação na tensão, de 433,9 volts para 440 volts, com variação da frequência. O mesmo ocorreu com a corrente do motor, que foi de 180 ampères a 397 ampères.

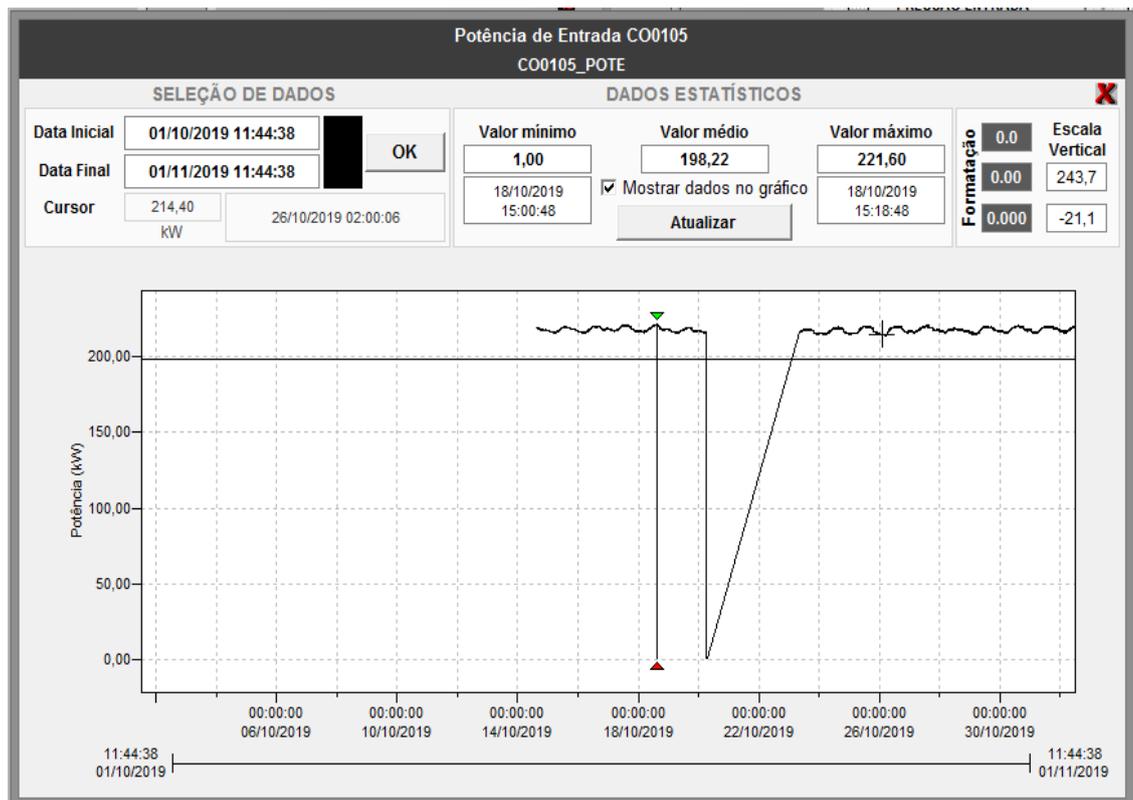
Quadro 11 – Medições da grandezas físicas do novo soprador

<b>Medições da Grandezas do Novo Soprador</b>				
<b>Medição de vazão (%)</b>	45 %	60 %	80 %	100 %
<b>Freq. do inversor (Hz)</b>	451,8	463,1	489,9	520,3
<b>Tensão no motor (volts)</b>	433,9	444,1	444,8	440,2
<b>Corrente (Amp.)</b>	180	220	303	397
<b>Potência (kW)</b>	130,8	166,7	232,9	299,5
<b>Vazão (Nm<sup>3</sup>/h)</b>	5594	7322	10386	12420

24Fonte: elaborado pelo pesquisador.

Em continuidade, a Figura 26 aponta o registro de medição da potência do soprador número 5, do dia 1º de Outubro de 2019 ao dia 1º de novembro de 2019. Observe-se uma pequena oscilação na crista da medição, com obtenção do valor médio de 198,22 Kw.

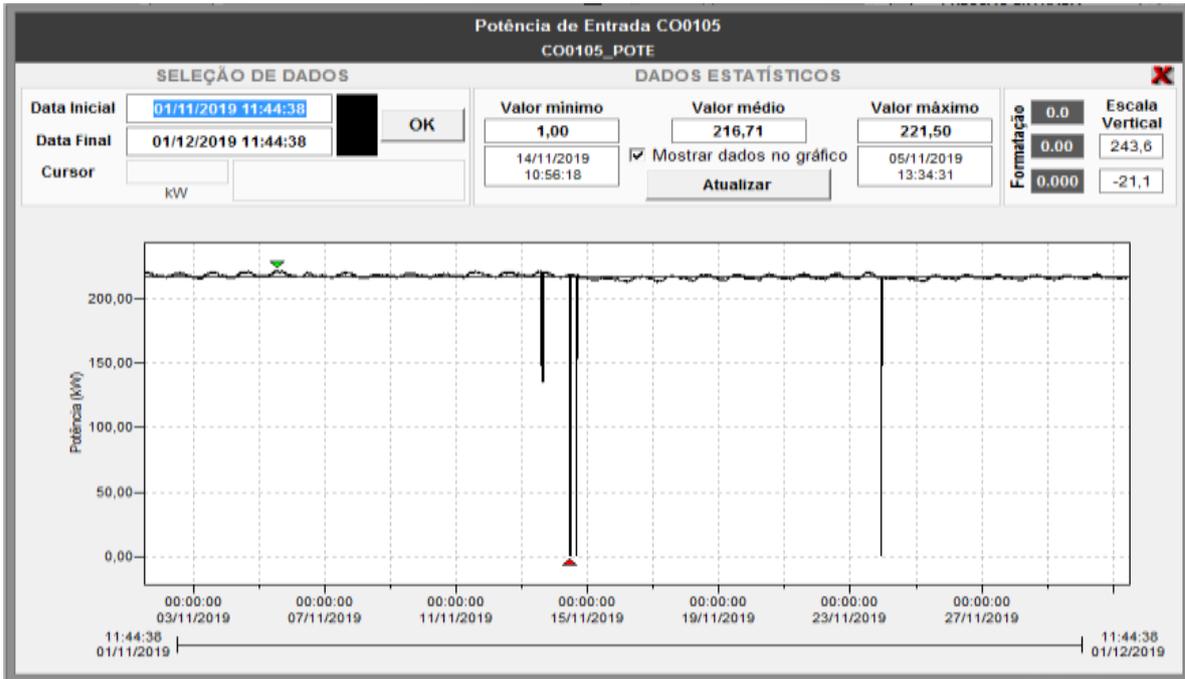
Figura 27 – Medições da potência elétrica do novo soprador em outubro 2019



Fonte: elaborada pelo pesquisador.

Na sequência, apresenta-se também a figura 27, que aponta o registro de medição da potência do soprador número 5, do dia 1º de Novembro de 2019 ao dia 1º de dezembro de 2019. Observe-se uma pequena oscilação na crista da medição, com a obtenção do valor médio de 216,71 Kw.

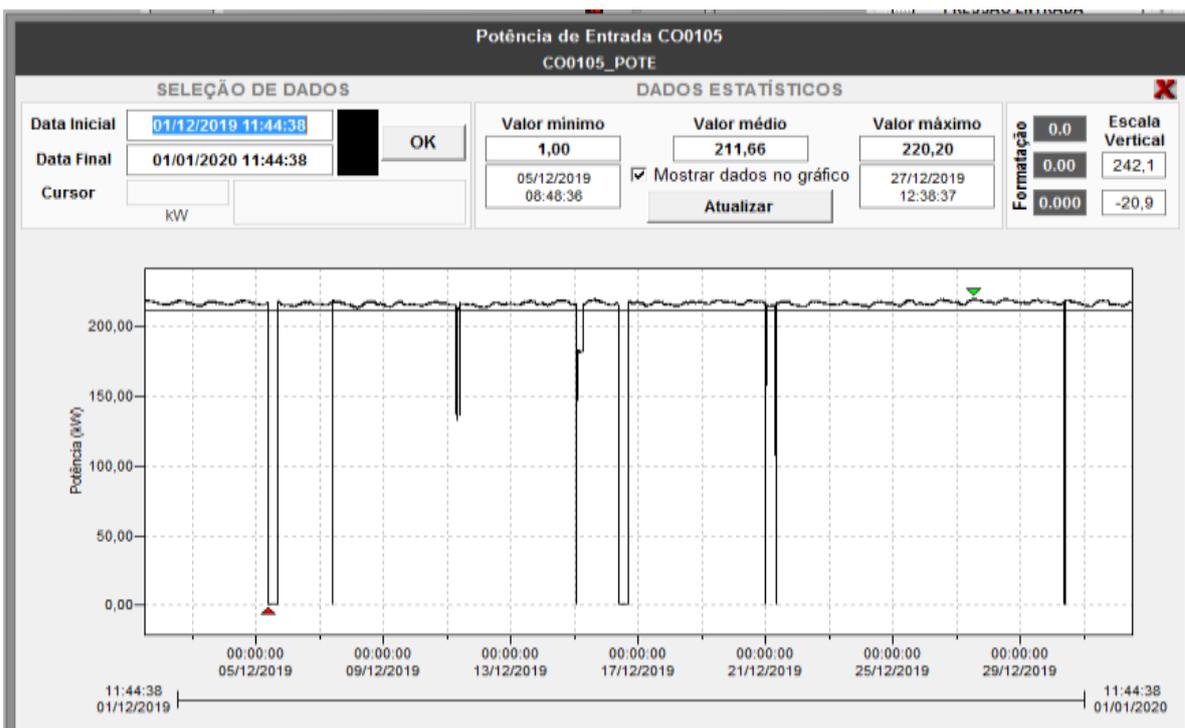
Figura 28 – Medições da potência elétrica do novo soprador em novembro 2019



Fonte: elaborada pelo pesquisador.

Igualmente, na figura 28 é apontado o registro de medição da potência do soprador número 5, do dia 1º de dezembro de 2019 ao dia 1º de janeiro de 2020, com a obtenção do valor médio de 211,66 Kw.

Figura 29 – Medições da potência elétrica do novo soprador em dezembro 2019



Fonte: elaborada pelo pesquisador.

Desse modo, de posse dessas medições, observa-se uma redução da potência elétrica, conforme se verifica nas figuras de 26 a 28, com destaque para os dados estatísticos do valor médio  $(198,22+216,71+211,66)/3 = 208,86$  kW), representativo de redução de 58,8% da potência original, considerando a elaboração das medições no supervisor do equipamento, que necessita de verificação junto à concessionária de energia elétrica, para confirmação da melhoria da eficiência energética na empresa em que foi realizado o estudo de campo.

Nesse cenário, as notas fiscais de energia elétrica referentes ao ano de 2019 foram planejadas, como forma de se constatar a melhoria da eficiência energética. Assim, com um funcionamento de 24 horas por dia, contando com o contrato junto à concessionária de energia elétrica na modalidade verde<sup>4</sup>, denominado horo-sazonal verde (entre 18h e 21h), verificou-se a redução do consumo também nesse período, conforme apresentado no quadro 12:

Quadro 12 – Planificação das notas fiscais da empresa do estudo de campo em 2019

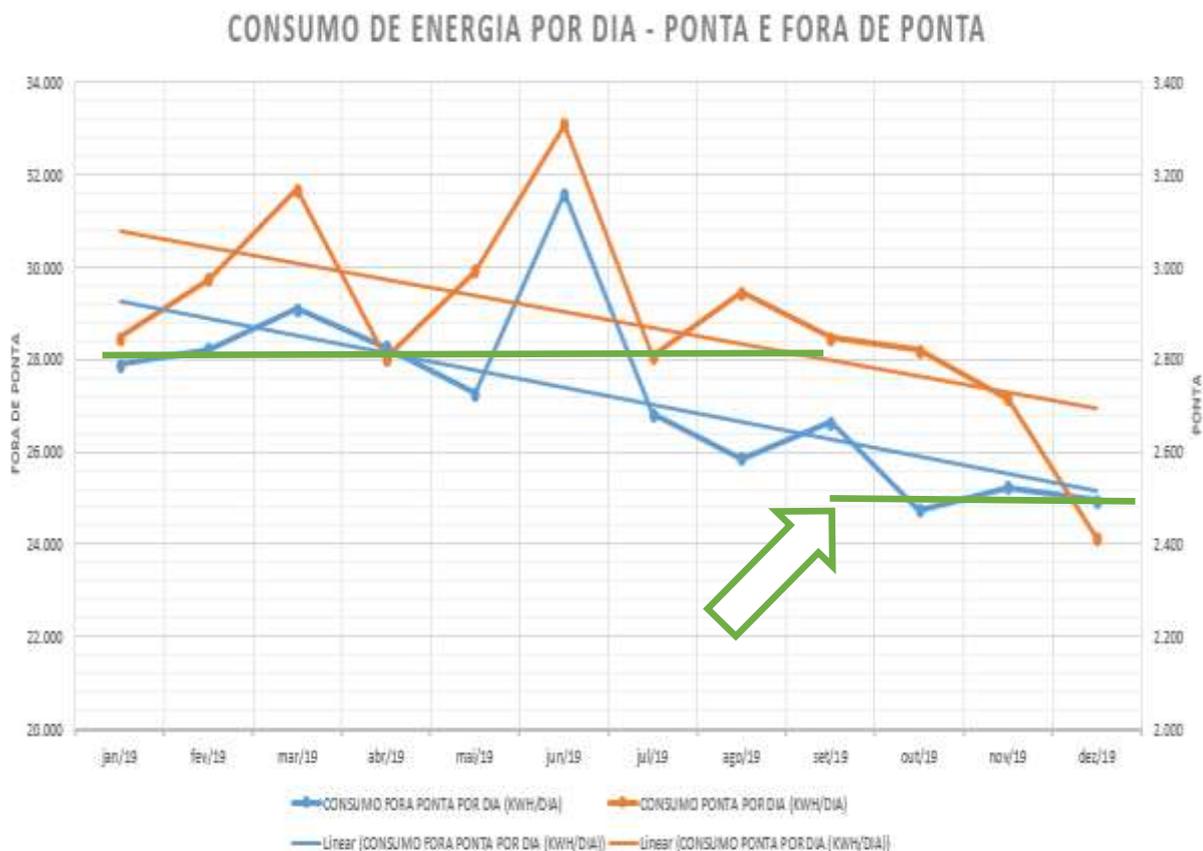
CONTA ENERGIA ELÉTRICA - ETE RIO PRETO													
ANO BASE 2019													
2019	Mês	01/19	02/19	03/19	04/19	05/19	06/19	07/19	08/19	09/19	10/19	11/19	12/19
Demanda PP	kVA	1.531	1.376	1.575	1.576	1.540	1.570	1.511	1.538	1.581	1.399	1.411	1.551
Faturada	R\$	84.365,85	30.119,25	35.086,89	96.795,28	38.793,25	38.962,92	37.091,22	38.481,85	38.087,85	34.893,01	35.188,15	39.041,33
Demanda PP	kVA	28				0						138	
Faturada	R\$	104,80				200,21		831,83	436,48	0,33	3.854,19	0,633,87	
Consumo	kWh	668.383	788.883	833.833	968.888	888.888	791.204	888.875	776.729	881.881	782.854	798.897	771.888
Fato de Ponta	R\$	186.352,31	185.246,95	176.446,08	186.885,87	203.889,69	248.185,57	212.654,11	188.448,28	204.845,42	178.835,01	181.935,18	183.086,04
Consumo	kWh	96.776	81.118	91.888	88.888	81.788	81.488	82.428	88.328	81.113	88.888	81.876	78.781
Ponta	R\$	181.842,70	133.012,18	139.289,07	137.886,73	138.118,76	137.208,83	138.187,14	148.201,78	148.718,88	138.819,12	142.783,82	138.888,18
At. Sazonal	R\$					487.388	11.118	888.875	888.888	881.884	828.961	818.317	887.711
Faturada	R\$					8.873,88	812,18	33.829,63	33.821,88	27.747,78	11.888,11	18.888,88	12.357,92
PP	R\$	1.911,88	1.264,68						600,17	1.175,81	1.093,11	1.183,88	1.147,47
CDP/PP	R\$	8.231,88	4.901,47						2.788,28	8.387,70	8.088,64	8.822,32	8.742,38
LEA/S	R\$	88.881,41	88.888,88	88.787,18	88.411,84	88.888,27	85.882,13	88.887,18	188.881,12	88.811,89	88.146,44	87.086,87	88.841,77
<b>TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>483.086,88</b>	<b>114.368,42</b>	<b>137.243,28</b>	<b>488.736,88</b>	<b>388.111,52</b>	<b>428.761,13</b>	<b>521.886,36</b>	<b>388.326,88</b>	<b>547.264,22</b>	<b>488.184,81</b>	<b>483.536,58</b>	<b>488.472,88</b>
Quem. Chl	23												
Proxima cobrança	27/09		28/09	28/09	30/09	27/10	30/10	28/10	27/11	30/11	28/11	30/11	30/11
Cont. F. Ponta dia	kWh	2799	2824	2908	2888	2724	2824	2888	2827	2848	2474	2524	2494
Cont. Ponta dia	kWh	1.846	2.873	3.188	3.388	3.981	3.881	2.887	2.944	3.091	2.818	2.718	2.411
Conto específico	R\$/kWh	482,26	474,55	487,72	472,44	456,71	524,87	533,87	585,79	588,81	588,18	588,18	528,88
Conto bruto fora ponta	R\$/kWh	208,17	208,17	208,17	218,88	248,88	248,18	248,18	248,18	248,18	248,18	248,18	248,18
Conto bruto ponta	R\$/kWh	1.478,87	1.478,87	1.478,87	1.534,37	1.654,13	1.654,13	1.654,13	1.654,13	1.654,13	1.654,13	1.654,13	1.654,13

Fonte: elaborado pelo pesquisador.

Dando continuidade, apresenta-se a figura 29, que ilustra o consumo diário de energia, considerando as características próprias da empresa, já relatadas anteriormente:

<sup>4</sup> Modalidade tarifária indicada às unidades consumidoras, por meio da qual é possível a reprogramação da utilização da carga (demanda), ao longo das horas do dia, do segmento de ponta para o segmento fora de ponta (Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/cartilha%20de%20energia%20v%202003.pdf>. Acesso em: 10.jan.2019).

Figura 30 – Consumo de energia por dia – Ponta e fora da ponta



Fonte: elaborada pelo pesquisador.

Com esse direcionamento, entende-se que a ETE, com a instalação de novos sopradores, pretendia verificar a possibilidade de trabalho conjunto entre os novos e os antigos, principalmente no que se refere ao fornecimento do volume de oxigênio esperado. Como essa possibilidade se tornou real, iniciou-se a conferência da redução do custo de energia junto à concessionária.

Com o término das novas instalações da Estação no final do mês de Setembro de 2019, foi necessário esperar o novo ciclo de leitura da concessionária para que os resíduos não pudessem influenciar nas medições. No mês de outubro de 2019, foi possível observar um degrau de redução (linhas verdes no gráfico); as linhas em laranja apontam o decréscimo no ano, no horário de ponta<sup>5</sup>, por dia (Kwh/dia); e a cor azul, no horário fora de ponta, também

<sup>5</sup> Horário de ponta e fora de ponta: período diário de 3h consecutivas, com exceção de sábados, domingos e feriados, e período diário composto pelas horas consecutivas e complementares ao horário de ponto (Disponível em [http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset\\_publisher/zNaRBjCLDgBE/content/alta-tensao/654800?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgBE/content/alta-tensao/654800?inheritRedirect=false). Acesso em 11.dez. 29=019).

por dia (Kwh/dia). Como as medições são anuais, entende-se que o declínio aconteceu no decorrer do ano.

Com isso, é possível fazer uma projeção da redução do montante a ser pago para a concessionária de energia nos próximos anos. Conforme o quadro 12, a conta a ser paga é composta por três módulos, mais os impostos, contribuições sociais e bandeiras. O primeiro módulo, a demanda, consiste em uma disponibilidade de “potência” que poderá ser utilizada. Os demais dois módulos se relacionam respectivamente com o consumo de energia nos horários de “ponta” e “fora de ponta”. Assim, das 24 horas do dia, 21 horas são consideradas como “fora da ponta” e as 3 horas restante são consideradas “na ponta”. Já nos 365 dias do ano, tem-se 7665 horas “fora da ponta”/ano e 1095 horas “na ponta”/ano.

Ainda conforme o quadro 12, tem-se que o custo bruto “fora da ponta” de R\$240,38/MW, além do custo bruto “na ponta”, no valor de R\$1.654,15/MW. O custo é bruto pois não foram considerados os impostos, contribuições e bandeiras.

Sendo dispostos dois sopradores, a potência por soprador foi reduzida de 355,00 kW para 208,86 kW, resultando numa diferença de  $146,14 \text{ kW} \times 2 = 292,28 \text{ kW}$ .

A partir dos dados acima, pode-se calcular o custo bruto evitado a partir do somatório de três módulos.

- No primeiro módulo, de demanda, tem-se uma redução de:  $292,28 \text{ kW} \times 25,03 \text{ R\$/kW} \times 12 \text{ meses} = \text{R\$ } 87.789,22/\text{ano}$ .
- No segundo módulo, referente às horas “na ponta”, tem-se:  $1095 \text{ horas/ano} \times 292,28 \text{ kW} \times 1654,15 \text{ R\$/MWh}/1000 = \text{R\$ } 529.405,08/\text{ano}$ ,
- O terceiro módulo, referente às horas “fora da ponta”, tem-se:  $7665 \text{ horas/ano} \times 292,28 \text{ kW} \times 240,38 \text{ R\$/MWh}/1000 = \text{R\$ } 538.529,61/\text{ano}$ ,

Totalizando os três módulos, tem-se uma redução estimada de R\$ 1.155.723,91/ano, que convertida em dólar (1 U\$ = R4,00 em setembro de 2019), equivale a U\$ 289.203,05/ano de custo bruto evitado.

## 6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos após a análise realizada, há a demonstração sobre os tipos de economia energética encontrados, a partir de mudanças pontuais e precisas, no fluxo do processo. A concepção de mapeamento de fluxo de valor energético futuro é eficiente, em termos de energia, podendo vir a ser muito significativa no cenário atual.

Nessa perspectiva, o MFVE de um sistema de manufatura *Lean e Green* pode ser desenvolvido por empresas de produção contínua, de médio porte, que estejam envolvidas com gestão de saneamento. Pelo desenvolvimento desse estudo, recomenda-se um percurso de redução do impacto ambiental, com uma abordagem fortemente recomendada para a implementação do sistema verde em várias unidades de fabricação, em busca de resultados otimistas com relação à eficiência energética.

Nesse sentido, o MFVE se mostrou eficaz como ferramenta de identificação de área com desperdício de energia e como possibilidade de substituição dos equipamentos, cuja configuração proposta e implantada foi capaz de diminuir o prejuízo energético, mantendo-se a mesma quantidade de oxigênio no sistema, com menor perda em energias indiretas, como o atrito e os prejuízos com o aquecimento.

Nas diversas concepções da gestão energética demonstradas pelas pesquisas atuais, a opção por conhecer mais uma ferramenta para diagnosticar pontos de aplicação para melhorar a eficiência de energia certamente contribui para melhoria da qualidade de vida humana. A proposta deste estudo foi justamente comprovar a otimização das ferramentas e os seus resultados favoráveis à economia de energia elétrica e, por conseguinte, à sustentabilidade.

### 6.1 Identificação dos fatores que influenciam a implantação do MFVE

A condição de agregar valor ao produto do processo fabril equivale ao movimento de transformação da matéria prima. Entretanto, com a utilização de equipamentos e maquinários, constitui-se também em uma atividade de agregar valor aos produtos acionados por motores elétricos, em sua grande maioria, devido às facilidades que eles proporcionam de acionamento e desligamento, além da sua confiabilidade.

Nessa concepção, Müller, Schilling e Stock (2014) afirmam que há momentos no processo fabril em que se agrega valor ao produto e momentos em que não se agrega, o que pode ser medido com equipamentos de medição das grandezas elétricas e com registro da energia no processo de transformação.

Nesse pressuposto, destaca-se também a necessidade de algumas atividades com a utilização de motores que não agregam valor, como, por exemplo, a ventilação interna que, por sua vez, resulta no consumo de energia.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados nesse estudo identificaram que as ferramentas propostas por Rahimifards e Seow (2011) para outros segmentos poderão ser aplicadas de maneira similar e sem obstáculos na empresa em que o tipo de atividade for de processos contínuos, ou não. Observou-se, também, não haver quaisquer inadequações, ou evidências no procedimento, que pudessem ser caracterizadas como algo específico da empresa estudada, impeditivas em relação à aplicação da metodologia de diagnóstico do MFVE.

Durante o processo de aplicação e estudo, foi possível constatar que os procedimentos para a aplicação do MFVE foram colaborativos, porém lentos para a identificação e levantamento de dados e das causas raízes. Além disso, vários outros pequenos problemas de eficiência energética foram arrolados, mas a aplicação a ferramenta se deu no nível do segundo procedimento de maior relevância no processo de produção.

Nessa experiência, os resultados encontrados coincidiram com os apontados por Müller, Stock, Schillig (2014), Chatterjee, Sharma, Mukherjee (2014), Edtmayr, Sihn e Sunk (2016), passíveis de que as eficiências energéticas declaradas sejam de fato obtidas quando da aplicação do MFVE.

Quanto à empresa envolvida no estudo, a ETE Rio Preto, importa destacar que se apresentou colaborativa e aberta na gestão da operação e na obtenção dos dados dos equipamentos a ser estudados, durante a aplicação da técnica

Dessa forma, como demonstraram os resultados oriundos do estudo, houve redução e melhorias nos custos da energia elétrica utilizada. Com isso, a contribuição é a de uma possibilidade a mais no preparo de colaboradores qualificados para o trabalho especializado com a ferramenta MFVE.

Nesse sentido, torna-se importante ampliar a qualificação profissional no nível tecnológico, para proporcionar uma maior atratividade no setor da mão de obra em tecnologia, de modo a suprir a crescente demanda pela automação e eletrônica, que precisa de novos profissionais, já que muitos não se sentem preparados para o trabalho no setor produtivo de forma não convencional.

Além disso, o estudo realizado deixa ainda a possibilidade de maiores investigações quanto à redução de energia elétrica na produção de oxigênio, especificamente para minimizar a produção de nitratos nos tanques de aeração. Outrossim, é também um alerta para os gestores responsáveis pelas políticas públicas e empresas, quanto à geração de ações de

incentivo à formação de profissionais qualificados para o setor de produção, em especial a Engenharia, com domínio das tecnologias para eficiência energética, saneamento básico e para inovar na capacidade e auxílio à geração dessas novas tecnologias.

De forma conclusiva, concerne relatar que nessa pesquisa foram concatenados esforços em três direções: na primeira, para demonstrar que a técnica de diagnóstico pode direcionar as ações da empresa à solução de problemas não perceptíveis, mesmo para técnicos experientes; na segunda, para recomendar a aplicação da ferramenta em empresas de qualquer atividade, contínua ou não; e na terceira, a mais importante implicação, para permitir que os resultados do MFVE permitam a identificação de propostas de ações para a adequação da eficiência energética aos novos modelos de trabalho da contemporaneidade.

Sendo assim, fica como sugestão a realização de trabalhos futuros, em empresas de diversos ramos de atividades, de qualquer porte e que, principalmente, vivenciem alterações nas suas linhas de produção constantemente.

## REFERÊNCIAS

ABDULLAH N. H.; AZAITI, A.H.N.; HASSAN M.H.; GADIMAN, Y. The relationship between worker involvement factor and cleaner production factor toward green manufacturing performance. **ARN Journal of Engineering and Applied Sciences**, p. 5481 – 5488, 2016. Disponível em: [http://www.arnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2016/jeas\\_0416\\_4139.pdf](http://www.arnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_0416_4139.pdf). Acesso em: 04 set. 2019.

ABRAMOVAY, R.; PETITGAND C.; SPERANZA J.S. Lixo zero: gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera. São Paulo. **Planeta sustentável**. Instituto Ethos, p. 77, 2013. Disponível em <https://www3.ethos.org.br/wp-content/uploads/2013/09/Residuos-Lixo-Zero.pdf>. Acesso em: 04 set. 2019.

AFOLAYAN, A.; MASON-JONES, R; WHITE, G. Why knowledge acquisition is important to effective supply chain management: The role of supply chain managers “ as knowledge acquirers. **The University of South Wales**. 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Ademola\\_Afolayan/publication/307992277\\_Why\\_Knowledge\\_Acquisition\\_is\\_Important\\_to\\_effective\\_Supply\\_Chain\\_Management\\_The\\_Role\\_of\\_Supply\\_Chain\\_Managers\\_as\\_Knowledge\\_Acquirers/links/57d66e4608ae6399a393f9a9.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ademola_Afolayan/publication/307992277_Why_Knowledge_Acquisition_is_Important_to_effective_Supply_Chain_Management_The_Role_of_Supply_Chain_Managers_as_Knowledge_Acquirers/links/57d66e4608ae6399a393f9a9.pdf). Acesso em: 04 set. 2019.

ALVANDI, S. FISCHER, J.; HEINEMANN, T.; HERRMANN, C.; KARA, S. ; POSSELT, G.; THIEDE, S. WEINERT, N. Extending Energy Value Stream Models by the TBS dimension- Applied on a Multi Product Process chain in the Railway Industry. **Procedia CIRP**. 2014. Disponível em: <https://pdf.sciencedirectassets.com/282173/1-s2.0-S2212827114X00041/1-s2.0-S2212827114004909/main.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2020.

AÑEZ M. E. M. Estratégias globais: evolução do conceito de internacionalização ao fenômeno global born, abordagem epistemológica e perspectivas. *In: COLOQUIO INTERNACIONAL DE EPISTEMOLOGIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA DA ADMINISTRAÇÃO*. 3., 2013, Florianópolis. Disponível em: <http://www.coloquioepistemologia.com.br/anais2013/ANE107.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2019.

ANTUNES, M.T.P.; LIMA, J.P.C.; MENDONÇA NETO, O.R.; PELEIAS, I.R. Reflexões para a Proposição de um Esquema Teórico para a Aplicação do Estudo de Caso em Pesquisas no Brasil. **Revista de Contabilidade e Organizações**. v.6, n.14, p.127-144, 2011. Disponível em: <http://congressos.anpcont.org.br/congressos-antigos/v/images/124-2.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2019.

ARANTES, A. F. ; AZEVEDO, F.S.; JABBOUR, A. B. L. S.; JABBOUR, C. J. Esverdeando cadeia de suprimentos: algumas evidências de empresas localizadas no Brasil , **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 953-962, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/110258/S0104-30X2013000400014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 07 mar. 2019.

ASAN, U. ; KAYAKUTLU, G. ; KESKIN C. Value Stream Maps for Industrial Energy Industrial, **Green Energy and Technology**, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/263085085>. Acesso em: 24 fev. 2019.

ASSUMPÇÃO, J.J.; CAMPOS, L. M. S. Gestão da Cadeia de Suprimentos Verde (GSCM): O Estado da Arte a partir da Revisão de literatura de Srivastava. **Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. 2014. Disponível em: <http://www.engema.org.br/XVIENGEMA/160.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2019.

BADURDEEN, F.; HUANG, A. Metrics-based approach to evaluate sustainable manufacturing performance at the production line and plant levels. **Journal of Cleaner Production**, 192, 462–476. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.04.234. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618312769>. Acesso em: 02 dez. 2019.

BAUERNHANSL, T.; DÖRR, M.; WAHREN, S. Methodology for energy efficiency on process level. **Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems**, Procedia CIRP 7, p. 652 – 657, 2013. DOI: 10.1016 / j.procir.2013.06.048. Disponível em: <https://pdf.sciencedirectassets.com/282173/1-s2.0-S2212827113X00046/1-s2.0-S221282711300317X/main.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2019.

BHASIN, S. ; BURCHER, P. Lean viewed as a philosophy. **Journal of Manufacturing Technology Management**. v. 17, n. 1, p. 56-72. 2006. Disponível em: [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/30365263/lean\\_viewed\\_as\\_a\\_philosophy.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1477579632&Signature=%2BAayFEs9%2FFMXHWgAcDgtjMyLHg0%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DLean\\_viewed\\_as\\_a\\_philosophy.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/30365263/lean_viewed_as_a_philosophy.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1477579632&Signature=%2BAayFEs9%2FFMXHWgAcDgtjMyLHg0%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DLean_viewed_as_a_philosophy.pdf). Acesso em: 25 fev. 2019.

BERGMILLER, G.G.; McCRIGHT, P.R. Parallel Models for Lean and Green Operations. **Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference**, 2009. Disponível em: [http://zworc.com/site/publications\\_assets/ParallelModels.pdf](http://zworc.com/site/publications_assets/ParallelModels.pdf). Acesso em: 05 jun. 2019.

BYERS, J.N; KELLIHER, F. M.; HOLLINGER, D.Y., HUNT, J.E.; MC SEVENY T.M.; WEIR, P.L. Carbon dioxide exchange between an undisturbed old-growth temperate forest and the atmosphere. **Ecology**, v. 75, n. 1, p. 134-150, 1994. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/1939390>. Acesso em: 15 set. 2019.

BLUME, S. ; HERRMANN, C. ; THIEDE, S. Aumentar a eficiência dos recursos de sistemas de manufatura usando um sistema baseado em conhecimento. **Procedia Cirp**, v. 69, p. 236-241, 2018. Disponível em: [https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/189573140/10.1016\\_j.procir.2017.11.126.pdf](https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/189573140/10.1016_j.procir.2017.11.126.pdf). Acesso em: 14 set. 2019.

BOIRAL, O. Global warming : should companies adopt a proactive strategy ? **Long Range Planning**, v 39, p. 315-330. 2006. Disponível em: <http://www4.fsa.ulaval.ca/wp-content/uploads/2015/05/Global-Warming-Should-Companies-Adopt-a-Proactive-Strategy.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2019.

BONGARDS, M.; CHAPARRO, A. ; CRONRATH, A.; D’ANTONI, B.M. ; FATONE. F.; HOSPIDO, A.; LEMA, J.M.; LONGO,S.; MAURICIO-IGLESIA, M.; SOARES, A. Monitoring and diagnosis of energy consumption in wastewater treatment plants. A state of the art and proposals for improvement. **Applied Energy**. Volume 179, p 1251-1268 , 2016. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/applied-energy>. Acesso em: 24 abr. 2019.

BOZTEPE, A. Green Marketing and Its Impact on Consumer Buying Behavior. **European Journal of Economic and Political Studies**, v.1, p.5-21, 2012. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/cfa6/1e98d7e1fe74ddedd579949a2b226f985a2f.pdf> . Acesso em: 06 fev. 2019.

BRAGLIA, M.; CARMIGNANI, G.; ZAMMORI, F. A new value stream mapping approach for complex production systems. **International Journal of Production Research**, ISSN:, v. 44, n. 18–19, p. 3929–3952, 2006. DOI: 10.1080/00207540600690545. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/232840579>. Acesso em: 22 out 2019.

BRYMAN, A. **Reserarch methods and organization studies ( contemporary social resera ch)**. London & New York: Loughborough University, 1989.

BUSH, A.; PALASCIANO, C.; STAUDACHER, A.P.; TAISCH, M.; VITALI, S. Investigating lean methodology for energy efficient manufacturing. *In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. p. 508-517. Disponível em: <https://hal.inria.fr/hal-01387926/document>. Acesso: 04 jun. 2019.

CHIARINI A, Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers. **Journal of Cleaner Production**, v.85, p.226-233, 2014. Disponível em: <http://www.Sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614008087>. Acesso em: 07 fev. 2019.

CABRAL, I. F. **An information model for lean, agile, resilient and green supply chain management**. 2011. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa/Portugal, 2011. Disponível em: [https://run.unl.pt/bitstream/10362/6620/1/Cabral\\_2011.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/6620/1/Cabral_2011.pdf). Acesso em: 27 fev. 2019.

CAMPOS, L. M. S; FERREIRA, J. C. E.; PEREIRA, C. P. Implementation of energy value stream mapping (EVSM) as an alternative tool for the management and reduction of energy in processes in the industrial sector: a literature review. **Journal of Lean Systems**, v. 3, n. 2, p. 104-130. 2018. Disponível em: <http://leansystem.ufsc.br/index.php/lean/article/view/2261>. Acesso em: 27 jul. 2020.

CARLOS V. D. ; FERNANDES A.S.C.; FERNANDES J.L.; QUALHARINI E. L. A. Metodologia de produção mais limpa na gestão ambiental. **Projectus**, v. 1, n. 1, p. 18-23, 2016. Disponível em: <https://revistas.unisuam.edu.br/index.php/projectus>. Acesso em: 20 fev. 2019.

CARVALHO, H. M. B. **Metodologia de Avaliação e Aumento da Eficiência Energética em Manufatura de Elementos Discretos: Aplicação em Usinagem**. 2015. 145 f. Tese de doutorado em sistemas Aeroespaciais e Mecatrônica - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos/SP, 2015. Disponível em: <http://www.bdita.bibl.ita.br/tesesdigitais/6/68895.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2018.

CETNARSKI, E. M.; COSTA, S.E.G.; FERREIRA, C.C.; LIMA, E.P.; SALDANHA, G.C. Consequência da implantação pontual de ferramentas Lean. **Journal of Lean Systems**, v. 1, n 1, p 51-66, 2016. Disponível em: <file:C:/Users/micro/Desktop/Downloads/1154-4194-1-PB.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2020.

CHATTERJEE, R.; SHARMA, V.; MUKHERJEE S. Value stream mapping based on energy and cost system for biodiesel production. **International Journal of Sustainable Manufacturing**, v. 3, n. 2, p. 95-115, 2014. Disponível em: <http://www.Inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJSM.2014.062492>. Acesso em: 02 abr. 2019.

CHIEN, K.M. ; YAN M.R. ; YANG T.N. Green Component Procurement Collaboration for Improving Supply Chain Management in the High Technology Industries: A Case Study from the Systems Perspective, **Sustainability**,v.8, n.2, p. 105, 2016. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2071-1050/8/2/105>. Acesso em: 27 ago. 2018.

CHOUDHARY, S ; DORA, M. ; GHADGE, A. ; MISHRA, N.; NAYAK, R. An integrated lean and green approach for improving sustainability performance: a case study of a packaging manufacturing SME in the UK. **Production Planning & Control**, v. 30, n. 5-6, p. 353-368, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09537287.2018.1501811>. Acesso em: 20 jul 2020.

COSGROVE, J.; DUARTE, M. R.; HARDIMAN, F. A. Methodology for Process and Energy Mapping In Production Operations. 2015. Disponível em: <http://nimbusvault.net/publications/koala/inimpact/papers/sdm15-021.pdf>. Acesso em: 11 set 2018.

CRUZ MACHADO, V.; DUARTE, S. Modelling lean and green: a review from business models, **International Journal of Lean Six Sigma**, v.4, n.3, p. 228-250, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/IJLSS-05-2013-0030>. Acesso em: 26 ago. 2018.

CZAPLICKA-KOLARZ, Krystyna et al. Material and energy flow analysis (MEFA) of the unconventional method of electricity production based on underground coal gasification. **Journal of Sustainable Mining**, v. 13, n. 3, p. 41-47, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2300396015300240>. Acesso em: 06 abr. 2020

DAILY, B. F.; HUANG, S. Alcançar a sustentabilidade através da atenção aos fatores de recursos humanos na gestão ambiental. **International Journal de operações e gestão da produção**, v. 21, n. 12, p. 1539-1552, 2001. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/01443570110410892>. Acesso em: 27 ago. 2018.

DAVIES, E.; VAN DER MERWE, K. R. Methodology to produce a water and energy stream map (WESM) in the South African manufacturing industry. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 27, n. 3, p. 219-229, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.org.za/pdf/sajie/v27n3/20.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2018.

DOVÌ, V. G.; FRIEDLER, F.; HUISIGH, D., KLEMES. Cleaner energy for sustainable future. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 10, p. 889-895, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Jiri\\_Klemes/publication/222122764\\_Cleaner\\_energy\\_for\\_sustainable\\_future/links/573ddd5908ae9f741b2ffb30.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jiri_Klemes/publication/222122764_Cleaner_energy_for_sustainable_future/links/573ddd5908ae9f741b2ffb30.pdf). Acesso em: 08 ago. 2018.

DRECHSEL, M., BORNSCHLEGL, M.; BREGULLA; M., FRANKE, J.; SPRENG, S. A new approach to integrate value stream analysis into a continuous energy efficiency improvement process. In: **Industrial Electronics Society, IECON 2013-39th Annual**

**Conference of the IEEE.** IEEE, 2013. p. 7502-7507. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6700382/>. Acesso em: 01 jun. 2018.

DREWS, S; VAN DEN BERGH, J C. J. M. Public views on economic growth, the environment and prosperity: Results of a questionnaire survey. **Global Environmental Change**, v.39 , p. 1-14, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301352814>. Acesso em: 08 ago. 2018.

DROVTAR, I.; MELSAS, R.; ROSIN, A. Value stream mapping for evaluation of load scheduling possibilities in a district heating plant. **In: Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2016 IEEE 16th International Conference on.** IEEE, 2016. p. 1-6. Disponível em: <https://www.tsee.eu/index.php/TEEE/article/viewFile/34/29> Acesso em: 04 jun. 2019.

DUARTE, R.; MACHADO, R. M. Efeitos do tratamento de resíduos sólidos na saúde e na economia. **Revistas UNIPAR**, v. 19, n. 2, p. 159-161, 2015. Disponível em: <http://revistas.unipar.br/index.php/saude/article/viewFile/5436/3123>. Acesso em: 18 abr. 2019.

EDTMAYR, T.; SIHN, W., SUNK, A. An approach to integrate parameters and indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping. **Procedia Cirp**, v41, p. 289-294, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115008884>. Acesso em: 09 maio 2019.

EISENHARDT, K.M. Building theories from case study research. **The Academy of Management Review**, v.14, n.4, p. 532-550, 1989. Disponível em: [http://euroac.ffri.hr/wp-content/uploads/2010/06/Eisenhardt\\_1989\\_Building-Theories-from-Case.pdf](http://euroac.ffri.hr/wp-content/uploads/2010/06/Eisenhardt_1989_Building-Theories-from-Case.pdf). Acesso em: 24 abr. 2019.

ELIAS, S.; MAGALHÃES, L. Contribuição da produção enxuta para a obtenção da produção mais limpa. **Revista Produção Online**, v.3 , n. 4, 2003. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/viewFile/577/623>. Acesso em: 24 jun. 2019.

ENSSLIN, L; VIANNA, W. B. O design na pesquisa quali-quantitativa em engenharia de produção—questões epistemológicas. **Revista Produção Online**, v. 8, n. 1, 2008. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/viewFile/28/25>. Acesso em 07 nov. 2019.

ENRIQUE, J. E. , MONFORT, E. Economia Energética e Vantagens Meioambientais da Reutilização de Resíduos, **Cerâmica Industrial**, v. 1, n. 04/05, p. 14-20 , 1996 , Disponível em: [http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v01n45/v1n45\\_2.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v01n45/v1n45_2.pdf). Acesso em: 18 jun. 2019.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2007a. **The lean and Energy toolkit.** Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-10/documents/lean-energy-climate-toolkit.pdf> Acesso em: 22 jun. 2019.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2007b. **The lean and environmental toolkit.** Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-10/documents/lean-energy-climate-toolkit.pdf> Acesso em: 22 jun. 2019.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2011. **The lean and Chemicals toolkit**. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-10/documents/lean-energy-chemical-toolkit.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2019.

ESAIN, A.; HINES, P.; RICH, N. Value stream mapping a distribution industry application. **Benchmarking: An International Journal**, v.6 , n. 1, p. 60-77, 1999. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Peter\\_Hines2/publication/235275761\\_Value\\_stream\\_mapping\\_A\\_distribution\\_industry\\_application/links/56cf1c9a08aeb52500c97e35.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Peter_Hines2/publication/235275761_Value_stream_mapping_A_distribution_industry_application/links/56cf1c9a08aeb52500c97e35.pdf). Acesso em: 26 jun. 2019.

ESCRIVÃO FILHO, E. ; MARTINS P. S.; NAGANO, M. S. Fatores de Contingência de Gestão Ambiental nas Pequenas e Médias Empresas. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 17, n. 2, p.156-179, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ram/v17n2/1678-6971-ram-17-02-0156.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2018.

FERCOQ, A. **Contribution à la modélisation de l'intégration lean green appliquée aumangement des déchets pour une performance équilibrée ( économique, environnementale, sociale)**. 2014. Tese de Doutorado. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers-ENSAM. Disponível em: <https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/1067184/file-name/FERCOQ.pdf> . Acesso em: 13 jun. 2018.

FERREIRA, M.A.; JABBOUR, C.J.C.; SANTOS, R.O.J.;STEFANELLIB, N.O. Há Sinergia entre o sistema Lean Manufacturing e a gestão Ambiental ? Mapeando o Estado da Arte. **Revista Eletrônica Sistema & Gestão**, V.10, n.1, p.134-146, 2015. Disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/841>. Acesso em: 30 out 2019.

FISCHER, J.;WEINERT, N.; HERRMANN, C. Método para selecionar medidas de melhoria para ambientes de produção, discretos usando um modelo de fluxo de valor de energia estendida. **Procedia CIRP**, v.26, p.133-138, 2015. Disponível em: [https://ac.els-cdn.com/S22128227114009135/1-s2.0-S2212827114009135-main.pdf?\\_tid=54952332-5e8d-4064-9209-ab154fd4e39c&acdnat=1537010136\\_5fcffflf6085f7bf4be2c700bbd3fe23](https://ac.els-cdn.com/S22128227114009135/1-s2.0-S2212827114009135-main.pdf?_tid=54952332-5e8d-4064-9209-ab154fd4e39c&acdnat=1537010136_5fcffflf6085f7bf4be2c700bbd3fe23). Acesso em: 06 jun. 2019.

FLORIDA R. Lean and Green: the move to environmentally conscious manufacturing. **California Management Review**, v. 39. P. 80-105, 1996. Disponível em: <http://cmr.ucpress.edu/content/39/1/80.full.pdf+html>. Acesso em: 08 set. 2018.

FORCELLINI, F. A. ; HEDLUND, F. N. Mapa de fluxo de valor estendido a avaliação do desempenho energético em consumidores industriais: Um Estudo de caso brasileiro. **Revista Produção Online**. V.18 , n.2 p.691-712, 2018. Disponível em: <https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/2954> . Acesso em: 30 out. 2018.

FOSSA, A. J.; SGARBI, F.A. **Guia para aplicação da Norma ABNT NBR 50001**, Gestão de Energia, Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência de Instalações, São Paulo: International Cooper Association Brazil, 2018. Disponível em: [http://www.abrinstal.org.br/docs/guia\\_gestao\\_de\\_energia.pdf](http://www.abrinstal.org.br/docs/guia_gestao_de_energia.pdf). Acesso em: 24 set 2019.

FREITAS W.R.S.; GOVINDAN, K.; JABBOUR, A.B.L.S.; JABBOUR, C.J.C. Gestão ambiental e desempenho operacional em empresas automotivas no Brasil: o papel da gestão

de recursos humanos e da produção enxuta. **Journal of Cleaner Production** , v. 47, p. 129-140, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Adriano\\_Teixeira3/publication/257408751\\_Environmentalmanagement\\_and\\_operational\\_performance\\_in\\_automotive\\_companies\\_in\\_Brazil\\_The\\_role\\_of\\_human\\_resource\\_management\\_and\\_lean\\_manufacturing/links/559fc5b608aea7f2ec587293.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Adriano_Teixeira3/publication/257408751_Environmentalmanagement_and_operational_performance_in_automotive_companies_in_Brazil_The_role_of_human_resource_management_and_lean_manufacturing/links/559fc5b608aea7f2ec587293.pdf) . Acesso em: 20 ago. 2018.

FROZZA, R.; HERNANDEZ, C.A.T.; HOFMANN, N.; KIPPLER, L.M.; OCAMPO, S.A.; REIS, L.V.; VELASQUEZ, F.D.G. Um modelo de integração e monitoramento Lean e Green para o setor cafeeiro. **Computadores e eletrônicos na agricultura** , 150 , 62-73. 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Lucas\\_Reis6/publication/324507467\\_A\\_model\\_for\\_Lean\\_and\\_Green\\_integration\\_and\\_monitoring\\_for\\_the\\_coffee\\_sector/links/5ad14494a6fdcc29357c3961/A-model-for-Lean-and-Green-integration-and-monitoring-for-the-coffee-sector.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Lucas_Reis6/publication/324507467_A_model_for_Lean_and_Green_integration_and_monitoring_for_the_coffee_sector/links/5ad14494a6fdcc29357c3961/A-model-for-Lean-and-Green-integration-and-monitoring-for-the-coffee-sector.pdf). Acesso em: 24 ago. 2018.

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. Disponível em: <https://derby.openrepository.com/derby/bitstream/10545/605001/1/Garza-Reyes%20-%20JCP%20-%20Revised%20Version.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2018.

GAVRONSKI, I. ; HAJMOHAMMAD, S.; VACHON, S.; KLASSEN, R.D. Lean management and supply management: their role in green practices and performance. **Journal of Cleaner Production**, v.39 , p. 312-320, 2013. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/7197/af84e1b9af94b174c2b75c8ea07cc4d18c47.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2019.

GIL,A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GIL,A.C. **Como elaborar projetos de pesquisas**. São Paulo: Atlas, 2007.

GIBBERT, M; RUIGROK, W; WICKI, B. What passes as a rigorous case study? **Strategic management journal**, v. 29, n. 13, p. 1465-1474, 2008. Disponível em: <https://www.alexandria.unisg.ch/53678/1/Gibbert,%20Ruigrok%20%26%20Kaes%20SMJ%202008%20manuscript.pdf> . Acesso em: 12 mar. 2019.

GUARDIA, E.C., HADDAD, J., MARQUES, N.C., **Eficiência energética: teoria e Prática**. Itajubá: FUPAI, 2007.

HINES, P; HOLWEG, M; RICH, N. Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. **International journal of operations & production management**, v. 24, n. 10, p. 994-1011, 2004. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/loi/ijopm>. Acesso em 26 ago. 2019.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **DIN EN ISO 50001: Energy Management systems Requirements with guidance for use**. Berlin, 2011.

JESWIET, J.; O'RIELLY, K.; Strategies to improve industrial energy efficiency. **Procedia Cirp**, v. 15, p. 325-330, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114004971>. Acesso em: 04 set. 2019.

KOROL, J.; KRUCZEK, M.; PICHLAK, Magdalena. Material and energy flow analysis (MEFA)–first step in eco-innovation approach to assessment of steel production. **Metalurgija**,

v. 55, n. 4, p. 818-820, 2016. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/file/232070>. Acesso em 20 jun 2020.

JEON, H. W.; TAISCH, M.; PRABHU, V. V. (2014). Modelling and analysis of energy footprint of manufacturing systems. **International Journal of Production Research**, 53(23), 7049–7059. Disponível em: doi:10.1080/00207543.2014.961208. Acesso em: 02 dez. 2019.

LENOX, M. J.; KING A. A. Lean e verde ? Um exame empírico da relação entre produção enxuta e desempenho ambiental. **Gerenciamento de produção e operações**, v. 10, n. 3, p. 244 -256, 2001. Disponível em:<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00373.x/full>. Acesso em: 04 set. 2019.

LOVINS, A B.; LOVINS, L. H; HAWKEN, P. A road map for natural capitalism. **Harvard Business Review**, v. 77, p. 145-191, 1999. Disponível em: <http://salient.nohomepress.org/wp-content/uploads/2008/03/hbr-rminatcap.pdf>. Acesso em: 08 set. 2019.

LU, J .C; YANG, T. ; WANG, C. Y. A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 24, n. 3, p. 211-228, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2010.551283>. Acesso em: 31 out. 2019.

MAHAPATRA, S. S. ; MOHANTY, S. R. Manufatura enxuta na indústria de processo contínuo: um estudo empírico. 2007. **Journal of Scientific & Industrial Research**, v.66, p.19-27. Disponível em: <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/1104>. Acesso em: 31 out. 2019.

MARCUS, A.; FREMTH, A. R. Green Management Matters Regardless, **Academy of Management Perspectives**. 2009. v. 3, p. 17-26.

MAXWELL, J.; PIL, F. K.; ROTHENBERG, S; Lean, green, and the quest for superior environmental performance. **Production and Operations Management**, v. 10, n. 3, p. 228-243, 2001. Disponível em: <http://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1331&context=article>. Acesso em: 17 abr. 2018.

MEADOWS, D.; MEADOWS, D.; RANDERS, J. **Limits to growth the 30 year update**. Editora Earthscan, London, Sterling, VA. 2012. 363p. Disponível em: <http://www.peakoilindia.org/wp-content/uploads/2013/10/Limits-to-Growth-updated.pdf>. Acesso em: 29 out 2018.

MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J.B.; XAVIER, A.F.; CAMPOS, D.F. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. **Production**, v. 22, n. 1, p. 1-13, 2012. Disponível em: [http://www.scielo.br/pdf/prod/v22n1/aop\\_t6\\_0010\\_0155](http://www.scielo.br/pdf/prod/v22n1/aop_t6_0010_0155). Acesso em: 10 ago. 2018.

MOLLENKOPF, D.; STOLZE, H.; TATE, W. L.; VELTSCHY, M. Green, lean, and global supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v.40, n. 1/2, p. 14-41, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile>

/Monique\_Murfield/publication/235260017\_Green\_Lean\_and\_Global\_Supply\_Chains/links/5695464708ae3ad8e33d5d3c.pdf. Acesso em: 27 abr. 2018.

MOUSAVI, S.; HERRMANN, C.; KARA, S.; THIEDE, S. An integrated approach for improving energy efficiency of manufacturing process chains. **International Journal of Sustainable Engineering**, 9(1), 11–24. DOI:10.1080/19397038.2014.1001470.

Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19397038.2014.1001470?journalCode=tsue20>. Acesso em: 02 dez. 2018.

MÜLLER, E. ; SCHILLIG, R.; STOCK, T. A method to generate energy value-streams in production and logistics in respect of time and energy-consumption. **Production Engineering**, v.8 , n.1-2, p.243-251, 2014. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11740-013-0516-9>. Acesso em: 28 jun 2018.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

OKIGAMI, P. T. **Avaliação das ferramentas EVSM e MEFA para modelagem do fluxo de energia em projetos de eficiência energética na indústria**. 2015. 70f. Dissertação de mestrado profissional do Curso de Mestrado Profissional em Produção, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2015. Disponível em:[http://www.fcmmpep.org.br/site/sites/default/files/dissertacoes/turma2/Paulodp-095\\_2015.pdf](http://www.fcmmpep.org.br/site/sites/default/files/dissertacoes/turma2/Paulodp-095_2015.pdf) .Acesso em: 18 abr. 2018.

PAVAN, M. C. O. **Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil**. 2012. 187 f. Tese de Doutorado em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PANWAR, K.S.;WU, L.;SUBRAMANIAN, N.;ABDULRAHMAN, M.D.;LIU, C.;LAI, K.H; O impacto de práticas integradas de sistemas de gestão enxuta, verde e social no desempenho de sustentabilidade da empresa - evidência de fornecedores de peças automotivas de moda chineses. **Sustentabilidade** , v. 7, n. 4, pág. 3838-3858, 2015. DOI. doi:10.3390/su7043838 Disponível em: [www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability). Acesso em: 20 jul. 2020.

PETTERSEN, J. Defining Lean production: Some conceptual and practical issues. **The TQM Journal** , v. 21 n. 2, p. 127-142, 2009. Disponível em: <http://www.lean.org/FuseTalk/Forum/Attachments/Defining%20lean%20production.pdf>.. Acesso em: 25 abr. 2018.

PORTER, M. E; VAN DER LINDE, C. Toward a new conception of the environment competitiveness relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v.9, n. 4, p. 97-118, 1995. Disponível em:<http://seg.fsu.edu/Library/Toward%20a%20New%20Conception%20of%20the%20Environment-Competitiveness%20Relationship.pdf>. Acesso em: 25 maio 2018.

PRASETIYO, R. I. **Energy efficiency assessment in production line: a sustainable manufacturing approach**. 2018. 98F. Requirements for the Degree of Bachelor of Engineering from Universitas Islam Indonesia. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2018. Disponível em: <https://space.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/037/Thesis.pdf>. Acesso em: 02 dez 2019.

RAHIMIFARDS, S; SEOW, Y. A framework for modeling energy consumption within manufacturing systems. **CIRP Journal of Science and Technology Manufacturing**, v. 4, n. 3, p. 258 – 264, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S175581711000381>. Acesso em: 03 jul. 2018.

RAHIMIFARD, S; SEOW, Y; CHILDS, T. Minimizando a energia do produto incorporado para apoiar a fabricação com eficiência energética. *In: Annals Manufacturing Technology* **59**, v. 59, n. 1, pág. 25-28, 2010. DOI: doi:10.1016/j.cirp.2010.03.048. Disponível em: [https://www.centreforsmart.co.uk/system/publications/attachments/000/000/119/original/minimising\\_embodied\\_product\\_energy\\_to\\_support\\_energy\\_efficient\\_manufacturing.pdf](https://www.centreforsmart.co.uk/system/publications/attachments/000/000/119/original/minimising_embodied_product_energy_to_support_energy_efficient_manufacturing.pdf). Acesso em: 03 jul. 2020.

RAO P. Greening production: a South-East Asian experience. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 3, p. 289-320, 2004. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/01443570410519042>. Acesso em: 04 set. 2018.

ROTHER, M. ; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: Mapeando o Fluxo de Valor para Agregar Valor e Eliminar o Desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

SANCHES, C.S. Gestão ambiental proativa, **Revista de Administração de Empresas**, v.40, n.1, p 76-87, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rae/v40n1/v40n1a09.pdf>. Acesso em: 10 set. 2018.

SANEPAR. **Eficiência energética no saneamento: trabalhos contemplados no Prêmio Sanepar de Tecnologias Sustentáveis e no Prêmio Inova Sanepar**, edição 2016. Organizadores Bárbara Zanicotti, Leite Ross, Charles Carneiro, Gustavo Rafael Collere Possetti. Curitiba : Sanepar, 2017. Disponível em: [http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/publicacoes/Livro-Eficiencia\\_Energetica\\_no\\_Saneamento.pdf](http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/publicacoes/Livro-Eficiencia_Energetica_no_Saneamento.pdf). Acesso em: 30 nov. 2019.

SARKIS, J. A strategic decision framework for green supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v.11, n.4, p. 397-409, 2003. Disponível em: <http://vietnamsupplychain.com/assets/upload/file/publication/1309766995989-2782.pdf>. Acesso em: 14 out. 2019.

SAURIN, T.; RIBEIRO, J.; MARODIN, G. Identificação de oportunidades de pesquisa a partir de um levantamento da implantação da produção enxuta em empresas do Brasil e do Exterior. **Gestão e Produção**, v. 17, n. 4, p. 829-841, 2010. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/129141/000768699.pdf?sequence=1>. Acesso em: 14 ago. 2019.

SHARMA, V.; VERMA, N. Energy Value Stream Mapping a Tool to develop Green Manufacturing. **Procedia Engineering**, v. 149, p. 526-534, 2016. Disponível em: [https://ac.els-cdn.com/S1877705816312188/1-s2.0-S1877705816312188-main.pdf?\\_tid=4ee3759e-b2fd-43c4-a242-3307279904ff&acdnat=1537011592\\_3dfc025dd9895ddbcc49946d00b59867](https://ac.els-cdn.com/S1877705816312188/1-s2.0-S1877705816312188-main.pdf?_tid=4ee3759e-b2fd-43c4-a242-3307279904ff&acdnat=1537011592_3dfc025dd9895ddbcc49946d00b59867). Acesso em: 04 jun. 2019.

SOBOTKA, T.; KAMHUBER, F.; RÖSSLER, M.; SIHN, W. Hybrid simulation-based optimization of discrete parts manufacturing to increase energy efficiency and productivity. **Procedia Manufacturing**, *21*, 413–420. Disponível em: doi:10.1016/j.promfg.2018.02.139. Acesso em: 02 dez. 2019

SRIVASTAVA, S. K. G. Green supply-chain management: A state-of the- art literature review , **International Journal of Management Reviews**, v. 9, n. 1, p. 53-80, 2007. Disponível em: doi: 10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x . Acesso em: 05 jul. 2019.

STENZEL, J. **Lean Accounting: Best Practices for Sustainable Integration**, New Jersey: John Wiley&Sons Inc., 2008.

THANKI, S. J. ; THAKKAR, J. J. Diagrama de carga de valor-valor: uma ferramenta gráfica para avaliação de desempenho verde-enxuto. **Planejamento e controle da produção** , v. 27, n. 15, pág. 1280-1297, 2016. Disponível em : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537287.2016.1220647> . Acesso em: 20 jun 2020.

WILSON L. **How to Implement Lean Manufacturing?**. New York: McGraw-Hill Companies, 2010.

WINSTON, A.S., **Green Recovery: Get Lean, Get Smart, and emerge from the downturn on top**, Boston: Harvard Business Press, 2009.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro : Campus, 1990.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**, Porto Alegre: Bookman, 2001. Disponível em: <http://www.fkb.br/biblioteca/livrosadm/Estudo%20de%20Caso%20Planejamento%20e%20M%20-%20Robert%20K.%20Yin.pdf> . Acesso em: 04 set. 2019.