UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Érica Carolina Ribeiro

GESTÃO INDUSTRIAL DE RECURSOS HÍDRICOS: UM MAPEAMENTO SUSTENTÁVEL COM BASE NO PENSAMENTO ENXUTO

Itajubá

Setembro de 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Érica Carolina Ribeiro

GESTÃO INDUSTRIAL DE RECURSOS HÍDRICOS: UM MAPEAMENTO SUSTENTÁVEL COM BASE NO PENSAMENTO ENXUTO

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. José Henrique de Freitas Gomes

Itajubá

Setembro de 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Érica Carolina Ribeiro

GESTÃO INDUSTRIAL DE RECURSOS HÍDRICOS: UM MAPEAMENTO SUSTENTÁVEL COM BASE NO PENSAMENTO ENXUTO

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção

Aprovada em:

Banca examinadora:

_____

_____

_____

Itajubá

Setembro de 2024

A minha família que me apoiou em todo o caminho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, cujo amor incondicional e apoio constante foram a força motriz por trás de todas as minhas conquistas. O apoio e encorajamento foram verdadeiramente inestimáveis.

Às minhas irmãs, Jane e Thaís, por estarem sempre ao meu lado, compartilhando tanto os momentos de alegria quanto os desafios. A presença constante e apoio foram fundamentais longo dessa jornada.

Aos meus amigos, Lucas, Daniel, Renata, Veruska, Rodrigo, Janaína, Thais (*in memoriam*) Rebecca, Poly e Leo, que estiveram ao meu lado em cada passo do caminho, oferecendo apoio moral, palavras de incentivo e momentos de descontração que trouxeram equilíbrio à minha vida acadêmica. Suas amizades são tesouros que guardarei para sempre em meu coração.

Agradeço a Deus por Sua orientação e bênçãos ao longo deste percurso. Sua graça e misericórdia foram minha fonte de força nos momentos de desafio e incerteza.

Ao meu orientador, expresso minha sincera gratidão pela orientação sábia, incentivo constante. Suas orientações foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Por fim, gostaria de agradecer à empresa que permitiu este estudo, pela oportunidade de realizar esta pesquisa em suas instalações e pela colaboração oferecida ao longo de todo o processo. Sua parceria foi fundamental para o sucesso deste projeto.

A todos vocês, meu mais profundo agradecimento. Este trabalho não seria possível sem o apoio e contribuições de cada um de vocês. Que possamos continuar a compartilhar momentos de realização e sucesso juntos.

Obrigada!

RESUMO

As mudanças climáticas têm afetado a disponibilidade e a renovação de recursos naturais e, nesse contexto, a água se torna um fator limitante para o desenvolvimento sustentável. Gerenciar os recursos hídricos de forma integrada é essencial, e as indústrias, que são grandes consumidoras de água, ocupam um lugar estratégico ao adotar um modelo de fabricação mais limpo. Com efeito, combinar técnicas enxutas e verdes se mostra uma solução eficaz para atender aos parâmetros sustentáveis. Uma revisão do estado da arte mostrou que o emprego conjunto de técnicas enxutas com a produção verde pode ser sinérgico em muitos aspectos, mesmo com objetivos filosóficos diferentes. Para tanto, o uso de ferramentas enxutas pode ser benéfico e, em especial, as ferramentas que mapeiam o sistema produtivo. Nesse sentido, este trabalho utilizou o Mapeamento do Fluxo de Valor para identificar o fluxo de água em uma indústria de alimentos, adaptando os parâmetros usados na cadeia de suprimentos para parâmetros hídricos. Os resultados indicaram que o Mapeamento do Fluxo de Valor poderia ser adaptado para identificar e mitigar os impactos associados ao uso da água nos processos da indústria alimentícia. O mapeamento do estado futuro tem o potencial de gerar reflexos positivos na sustentabilidade, promovendo o uso mais eficiente dos recursos e aprimorando a estrutura operacional da empresa. Isso possibilita a implementação dos três pilares da sustentabilidade: econômico, social e ambiental. Este enfoque visa não apenas aprimorar a eficiência no uso dos recursos hídricos, mas também fortalecer o compromisso com práticas sustentáveis e responsáveis, contribuindo para um modelo de operação mais consciente e alinhado com os princípios de sustentabilidade.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Manufatura enxuta; Mapeamento do fluxo de valor; MFV hídrico; Indústria de alimentos.

ABSTRACT

Industrial management of water resources: a sustainable mapping based on lean thinking

Climate change has affected the availability and renewal of natural resources, and in this context, water becomes a limiting factor for sustainable development. Managing water resources in an integrated manner is essential, and industries, being major consumers of water, hold a strategic position by adopting a cleaner manufacturing model. Consequently, combining lean and green techniques proves to be an effective solution to meet sustainability parameters. A state-of-the-art review revealed that the combined use of lean techniques with green production can be synergistic in many aspects, despite having different philosophical goals. In this regard, the use of lean tools can be beneficial, especially those that map the production system. This study employed Value Stream Mapping to identify the water flow in a food industry, adapting the parameters used in the supply chain to water parameters. The results indicated that Value Stream Mapping could be adapted to identify and mitigate the impacts associated with water use in food industry processes. The future state mapping has the potential to yield positive impacts on sustainability by promoting more efficient resource use and improving the company's operational structure. This enables the implementation of the three pillars of sustainability: economic, social, and environmental. This approach aims not only to enhance the efficiency of water resource use but also to strengthen the commitment to sustainable and responsible practices, contributing to a more conscious and sustainability-aligned operational model.

Keywords*: Sustainability; Lean Manufacturing; Value Stream Mapping, Water VSM; Food Industry.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pilares da sustentabilidade 24

Figura 2: Dimensões da segurança hídrica.....29

Figura 3: Usos consuntivos setoriais de água no Brasil 30

Figura 4: Casa do Sistema Toyota de Produção.....33

Figura 5: A implementação do Sistema Toyota de Produção sem o *Jidoka* 38

Figura 6: Representação geral do Mapeamento do Fluxo de Valor 40

Figura 7: Sentido de mapeamento dos fluxos de materiais e de informação em um MFV.....41

Figura 8: Fases de implementação do MFV.....42

Figura 9: Símbolos utilizados no mapeamento do fluxo de valor 46

Figura 10: Mapeamento de Fluxo Sustentável do processo de manufatura. 49

Figura 11: Etapas da Revisão Sistemática de Literatura.....52

Figura 12: Conjunto de palavras-chaves definido para a revisão sistemática da literatura 53

Figura 13: Distribuição temporal de publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria.....54

Figura 14: Distribuição espacial de publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria.....55

Figura 15: Distribuição por tipologia industrial de publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria.....56

Figura 16: Ferramentas enxutas identificadas nas publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria.....58

Figura 17: Termos relevantes para análise do estado da arte das publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria.....60

Figura 18: Esquema de classificação da pesquisa científica 68

Figura 19: Estágios da Metodologia de Sistemas Soft.....70

Figura 20: Fases de implementação do MFV adaptado para o Fluxo Hídrico.....65

Figura 21: Simbologia para o fluxo da água no MFV 66

Figura 22: Fluxograma de processamento da batata palha. 73

Figura 23: Processamento de bata-palha com as entradas e saída de água. 73

Figura 24: Figura rica do processo de produção de batata-palha. 75

Figura 25: Mapa do Estado Atual para a produção da batata palha. 79

Figura 26: Simbologia adicionada ao MFV-hídrico no estado futuro. 81

Figura 27: Mapa do Estado Futuro para a produção da batata palha. 82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ferramentas *lean* e green manufacturing identificadas nas publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria.....59

Tabela 2: Dados de consumo de água e tempo de produção coletados.....78

Tabela 3: Comparação de redução de volume de água em relação à eficiência dos arejadores 83

Tabela 4: Tabela Tarifária de Aplicação - COPASA.....**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 5: Comparação do custo de água para o estado atual e o estado futuro . **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 6: Custo de Implementação.....86

Tabela 7: Valor Presente do fluxo de caixa.....**Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dados para elaboração do mapa do estado atual 43

Quadro 2: Características gerais do Mapeamento do Fluxo de Valor Sustentável (Sus-MFV) 48

Quadro 3: Elementos-chave para definição do Mapa do estado futuro hídrico 64

Quadro 4: Integração da MSS e com MFV-hídrico.....71

Quadro 5: Classificação de índice de Qualidade da Água - IQA.....85

Quadro 6: Tempo de retorno do investimento.....**Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3Rs	Reduzir, Reutilizar, Reciclar
6Rs	Repensar, Recusar, Reduzir, Reutilizar, Reparar, Reciclar
ANA	Agência Nacional de Água e Saneamento Básico
DMAIC	*Define – Measure – Analyse – Improve – Control*
GM	*Green Manufacturing*
IoT	*Internet of Things*
JIT	*Just in Time*
KPIs	*Key Performance Indicators*
LCA	*Life Cycle Assessment*
LCC	*Life Cycle Costing*
LT	*Lead Time*
LM	*Lean Manufacturing*
ME	Manufatura Enxuta
MFCA	*Material Flow Cost Accounting*
MFV	Mapeamento de Fluxo de Valor
OECD	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
P + L	Produção mais limpa
STP	Sistema Toyota de Produção
TAV	Tempo de Agregação de Valor
TBL	*Triple Botton Line*
TC	Tempo de Ciclo
TPM	*Total Productive Maintenance*
TR	Tempo de Troca
UNESCO	Organização das Nações Unidas para Educação, a Ciência e a Cultura
WCED	Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
WWC	*World Water Council*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
1.1 Objetivos geral e específicos 18
1.2 Justificativa da pesquisa 19
1.3 Método de pesquisa 19
1.4 Delimitações 20
1.5 Estrutura do trabalho 21
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 23
2.1 A manufatura sustentável 23
2.2 A gestão hídrica e o uso da água na indústria 26
2.3 A Manufatura Enxuta 32
2.3.1 Ferramentas e práticas enxutas 37
2.4 Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) 39
2.4.1 Implementação do MFV 41
2.5 Mapeamento do Fluxo de Valor Sustentável 46
3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA 51
3.1 Análise Bibliométrica 53
3.1.1 Distribuição das Publicações 53
3.1.2 Ferramentas aplicadas 57
3.1.3 Termos relevantes 60
3.2 Análise crítica do estado da arte 60
4 MÉTODO DE PESQUISA 63
4.1 Taxonomia de pesquisa 68
4.2 Metodologia de Sistemas Soft (MSS) 69
4.3 Mapeamento do Fluxo Hídrico 63

4.4 Integração das etapas da MSS e do MFV-hídrico.....70
4.5 Descrição do objeto de estudo.....72
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....75
5.1 Etapas da MSS integrada ao Mapeamento do Fluxo de Valor.....76
5.2 Análise Econômica.....**Erro! Indicador não definido.**
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....89
6.1 CONCLUSÕES.....89
6.2 TRABALHOS FUTUROS.....91
REFERÊNCIAS.....92
ARTIGOS PUBLICADOS.....105

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade tem se tornado um paradigma importante nas agendas políticas pelo mundo, mas foi a partir do relatório "*Our Common Future*", da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMED), em 1987, que o termo Desenvolvimento Sustentável foi definido como a capacidade do ambiente de prover a geração atual sem comprometer o futuro. Na definição contemporânea de sustentabilidade, duas outras dimensões foram acrescentadas: a econômica e a social que, juntas à dimensão ambiental, formam o *Triple Botton Line*, permitindo o crescimento equilibrado (Mittal *et al*., 2017).

Por outro lado, o conceito de desenvolvimento sustentável vem acompanhado da necessidade da humanidade de se adaptar a um ambiente hostil e pouco favorável ao crescimento. A mudança climática é tangível e ameaça a disponibilidade, a quantidade e a qualidade de recursos ambientais para a humanidade.

Neste cenário, a água é um fator limitante para o desenvolvimento sustentável, já que mudanças no ciclo hidrológico, aliadas ao crescimento de demandas por consumo de água nos diversos setores socioeconômicos, aumentam os desafios da gestão sustentável dos recursos hídricos (UNESCO, 2020). Ademais, a alocação de recursos hídricos tem sido uma questão árdua na agenda sustentável, já que a demanda crescente por água acentua a desigualdade pelo acesso à mesma (Sone *et al*., 2022).

Para tanto, o gerenciamento dos sistemas hídricos deve ser integrado, envolvendo os diversos setores da sociedade na tentativa de otimizar os recursos e tornar o sistema hídrico mais resiliente e colaborativo entre os diversos *stakeholders* (Borges, 2021; Delozier e Burbach, 2021). A preocupação com a eficiência no uso da água pela indústria deve ocupar lugar estratégico, principalmente nas que utilizam de forma intensiva este recurso.

A indústria tem procurado adaptar seus processos aos padrões de sustentabilidade estabelecidos, visto que o setor tem grande relevância no consumo de água e no impacto aos corpos hídricos. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2019), o setor industrial no Brasil, ao longo da história, carece de controle efetivo sobre o uso da água em suas múltiplas finalidades.

Em trabalhos como Viles *et al*. (2021), os autores relatam a importância de compreender quais processos industriais têm mais impacto no uso da água, para

detectar oportunidades de melhoria e, consequentemente, obter uma gestão mais eficiente. Determinar a demanda e a intensidade com que a água é utilizada na indústria é fundamental na manutenção da segurança hídrica e na disseminação de boas práticas de uso, visto que, a intensidade de uso reflete o tipo de produto, serviço ou processo industrial envolvido.

A UNESCO (2021) projeta um aumento de 400% na demanda de água na indústria nos próximos vinte e oito anos, relacionado à expansão do setor produtivo, em especial em países da Ásia e da América Latina. No Brasil, a ANA (2021) espera que o consumo de água na indústria cresça 36% até o ano de 2040.

Esse crescimento ressalta ainda mais a necessidade de aprimorar os processos produtivos atuais por meio de pesquisas e novos desenvolvimentos. Segundo a *World Water Council* (WWC, 2015), o crescimento econômico, a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento social só serão possíveis com a ênfase na gestão de recursos hídricos, onde haja uma infraestrutura hídrica resiliente e uma capacidade de governos para implementação de políticas apropriadas.

Nessa perspectiva, adotar um modelo de desenvolvimento com menor impacto ambiental exige mudanças estruturais na forma como a sociedade produz e consome os recursos. As organizações devem ter um papel proativo no desenvolvimento de processos e serviços de fabricação mais limpos, alinhando suas estratégias de negócio às iniciativas verdes (Aligleri; Aligleri; Kruglianskas, 2016; Garza-Reyes, 2015).

E, como definiu Alves Queiroz (2015), as empresas atuam em um ambiente cada vez mais ágil e competitivo, onde há busca por respostas rápidas, compatíveis com as exigências dos consumidores e, ambientalmente, dentro dos novos padrões estabelecidos. Este fato compeliu as organizações a buscarem alternativas para combinar os meios produtivos tradicionais com objetivos e iniciativas verdes, resultando em combinações como o conceito *green-lean*.

Em um levantamento do estado da arte deste tema, Abualfaraa *et al.* (2020) demonstram que as práticas *lean* e *green* são complementares em muitos aspectos, alcançando efeitos sinérgicos quando aplicadas em conjunto, como a redução de desperdícios. Mas Dües, Hua Tan e Lim (2012) ressaltaram que, embora as filosofias apresentem singularidades, a definição para ambas é diferente, uma vez que a manufatura enxuta tem como objetivo final maximizar o lucro, enquanto que na fabricação sustentável a finalidade é reduzir riscos e impactos ambientais.

Neste cenário, Mollenkopf *et al*. (2010) explicaram que empresas enxutas, que implementaram técnicas de melhoria contínua, são mais propensas a introduzir estratégias, métodos e ferramentas sustentáveis, isto porque o pensamento enxuto tende a enfatizar a redução de desperdício.

Com efeito, as ferramentas enxutas auxiliam na propagação do pensamento enxuto dentro da cadeia produtiva e, entre elas, as técnicas de mapeamento são bastantes difundidas no sistema sustentável, posto que, elas ajudam a identificar os indicadores-chave de desempenho ambiental. Nessa direção, o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) é uma técnica que consiste em estabelecer o diagnóstico de um sistema com foco nas atividades que agregam valor do produto ou serviço ao cliente final, guiando para o processo de identificação e eliminação dos desperdícios de produção por meio de um mapa (Santos, 2016).

O mapeamento da cadeia de fluxo de valor funciona como uma ferramenta de melhoria contínua que pode ser aplicada em diferentes processos organizacionais. Na origem da criação da ferramenta por Rother e Shook (2012), a aplicação acontecia em sistemas de manufatura para identificar tempos de processo e desperdícios de fabricação. No entanto, o MFV tem evoluído em sua aplicação, sendo adotado nos mais diversos setores, como em serviços hospitalares, no desenvolvimento de produtos, na construção civil, no setor de energia e nos serviços de saneamento. A exemplo, Sodkomkham, Ratanatamskul e Chandrachai (2021) utilizaram o mapeamento do fluxo de valor e outras técnicas para otimizar o gerenciamento de água em uma indústria de eletrônicos na Tailândia.

Dessa forma, levando em conta o exposto anteriormente, esta pesquisa se dedicou a analisar, sob a ótica dos conceitos e técnicas do pensamento enxuto, as formas de consumo sustentável da água no âmbito industrial em uma produção de alimentos, com o intuito de promover uma análise com maior direcionamento e eficiência no uso deste recurso. Para tanto, utilizou-se como principal técnica a ferramenta de Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), buscando identificar oportunidades de melhoria e promover uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos desta empresa.

Entretanto, no que se refere ao método de aplicação e, principalmente, à simbologia empregada, foi necessário adaptar o mapeamento do fluxo de valor original para abordar especificamente os recursos hídricos. Embora o mapeamento

sustentável inclua a análise do fluxo da água nos processos, ele está orientado para diversos aspectos da sustentabilidade, como energia e emissão de gases.

Desenvolver um mapeamento de fluxo de valor para água exigiu a criação de uma simbologia específica que refletisse os componentes e fluxos relevantes para esse setor. Isso englobou elementos como fontes de água, pontos de monitoramento de volume utilizado e de sistema de tratamento de água. Ademais, foi fundamental estabelecer correspondências claras com o mapeamento de fluxo de valor original, de modo que permitisse uma análise mais detalhada e eficiente dos processos relacionados à água, facilitando a identificação de oportunidades para a redução de desperdícios, a melhoria da eficiência e a promoção da sustentabilidade.

1.1 Objetivos geral e específicos

O objetivo geral deste trabalho consiste em aplicar os conceitos e técnicas do pensamento enxuto para analisar uma melhor gestão dos recursos hídricos em um contexto industrial, utilizando-se de um mapeamento do fluxo de valor adaptado ao uso de métricas sustentáveis com ênfase no uso industrial da água. E, posteriormente, em consequência ao desenvolvimento desta pesquisa, buscou-se identificar oportunidades de melhoria para uma gestão hídrica mais eficiente e sustentável na produção de alimentos da indústria objeto de estudo deste trabalho.

Para tanto, as contribuições pretendidas nesta pesquisa puderam ser evidenciadas a partir de um estudo da literatura sobre a manufatura enxuta e a gestão sustentável de recursos hídricos, a fim de constatar seus possíveis pontos de ligação, suas lacunas e os ganhos alcançados com uma gestão síncrona dos dois temas. Em seguida, pela análise do estado da arte, foi identificado o MFV, entre as ferramentas da manufatura enxuta, como uma das de melhor potencial e aplicabilidade para utilização no setor industrial quando se busca um melhor aproveitamento no uso da água. Porém, para os trabalhos analisados, foi verificado que a maioria utilizou o MFV em sua forma convencional.

Nesse sentido, para que o objetivo geral pudesse ser atingido, este trabalho teve os seguintes objetivos específicos:

- Analisar sistematicamente na literatura os estudos que se utilizaram do pensamento enxuto para melhoria da gestão sustentável, com ênfase no uso da água;
- Classificar, pela análise do estado da arte, as principais tipologias industriais e as principais ferramentas utilizadas dentro do escopo definido nesta pesquisa;
- Desenvolver uma simbologia e adaptar o método de aplicação do MFV convencional para uma proposta de mapeamento do fluxo de valor hídrico (MFV hídrico), a ser aplicado na cadeia de produção industrial;
- Aplicar o MFV hídrico para a melhoria da gestão sustentável da água em uma indústria de alimentos;
- Contribuir para melhores práticas industriais com relação à gestão e uso sustentável dos recursos hídricos.

1.2 Justificativa da pesquisa

As indústrias são grandes consumidoras de recursos hídricos e, com as mudanças climáticas ameaçando o acesso à água, o interesse na conservação e no uso racional se torna crescente. Além disso, embora a água seja um recurso fundamental dentro do segmento industrial, ainda é um assunto pouco estudado como elemento chave da manutenção do setor.

Assim, torna-se evidente a necessidade premente de estratégias voltadas para a preservação e uso eficiente da água no contexto industrial. Nesse sentido, este trabalho busca não apenas abordar a importância da gestão sustentável dos recursos hídricos para as indústrias, mas também destacar a relevância de um maior investimento em pesquisas e práticas que promovam a integração da conservação da água como parte essencial da manutenção ambiental dentro do cenário industrial.

Portanto, este trabalho tem como motivação a possibilidade de contribuir com a gestão integrada de recursos hídricos, através da aplicação de técnicas enxutas para que empresas se tornem mais sustentáveis do ponto de vista econômico, social e ambiental.

1.3 Método de pesquisa

Segundo Gil (2008), a pesquisa é um procedimento racional e sistemático com a finalidade de possibilitar solução aos problemas apresentados. Com este intuito, as pesquisas podem ser classificadas quanto à natureza, o objetivo, a abordagem e o método. Assim, esta pesquisa se caracteriza por ser aplicada, gerando conhecimento para aplicação prática e orientada para a solução de problemas específicos. Descritiva, em relação aos objetivos, pois descreve as características de uma população, fenômeno ou estabelece relações de variáveis.

A abordagem é qualitativa, com intuito de delinear o contexto do ambiente de pesquisa e o método empregado é a Metodologia de Sistemas *Soft* (MSS), cuja finalidade é conduzir para compreensão de um problema complexo não estruturado, guiando soluções pela prática (Bellini; Rech; Borenstein, 2004). Com este propósito, se utilizou da técnica de mapeamento do fluxo de valor para o contexto hídricos integrada às fases da MSS.

1.4 Delimitações

O presente estudo apresenta algumas delimitações que definem seu escopo e influenciam a interpretação dos resultados obtidos. Primeiramente, a análise da quantidade exata de água utilizada no processo industrial enfrentou uma limitação significativa, uma vez que o controle inicial disponível consistia apenas no consumo semanal registrado pela gerência. Para contornar essa restrição, foi adotada uma metodologia de coleta de dados, na qual envolveu a medição da vazão da água por meio do registro de volume e tempo para cada entrada de água no sistema. Esta abordagem permitiu uma avaliação mais detalhada e precisa do uso da água, superando a limitação dos dados agregados anteriormente disponíveis.

Outra delimitação relevante refere-se ao contexto específico do estudo, realizado em uma indústria do setor alimentício que possui uma característica particular: a água consumida não gera custos diretos. Esta ausência de um custo direto pode influenciar as práticas de gestão e conservação dos recursos hídricos, uma vez que pode haver menor incentivo para a adoção de medidas eficientes de uso da água. Assim, os achados deste estudo podem ser mais relevantes para contextos semelhantes e podem não refletir completamente a realidade de indústrias que enfrentam custos diretos associados ao consumo de água.

Além disso, o estudo incluiu a análise do estado futuro com base no Mapeamento do Fluxo de Valor. Contudo, essa previsão enfrentou limitações devido à necessidade de simulação e à falta de dados referentes à implementação prática. Embora o mapeamento do estado futuro ofereça valiosos insights sobre possíveis melhorias e práticas mais eficientes, os resultados não capturam diretamente os impactos reais da adoção dessas práticas, uma vez que estas ainda não foram implementadas na prática.

1.5 Estrutura do trabalho

Este documento é estruturado em cinco capítulos, a saber:

Capítulo 1 (Introdução): destinado em apresentar ao leitor do que se trata esta dissertação, contendo as subseções com os objetivos, a justificativa para a pesquisa e o método empregado.

Capítulo 2 (Fundamentação teórica): este capítulo é destinado a apresentar os conceitos principais tratados durante o desenvolvimento do estudo e está dividido em quatro subseções: a primeira apresentação do conceito de manufatura sustentável, a segunda apresenta os pontos importantes da gestão da água e como seu uso se dá na indústria, a terceira conceitua a manufatura enxuta, a terceira trata do conceito de manufatura sustentável e, por fim, a última subseção trata do conceitos relacionado ao mapeamento de fluxo de valor.

Capítulo 3 (Revisão sistemática da literatura): analisa como o estado da arte se apresenta em relação aos objetivos de pesquisa desta dissertação. O capítulo é dividido em análise bibliométrica, que apresenta os dados levantados através da determinação de um protocolo de pesquisa, e em análise crítica, que identifica como as pesquisas têm contribuído para o estado da arte. Neste último, são estabelecidas as lacunas para as principais contribuições deste estudo.

Capítulo 4 (Método de pesquisa): neste capítulo é apresentada a classificação desta pesquisa quanto à natureza, o objetivo, a abordagem e o método empregado. O capítulo apresenta, ainda, a adaptação do mapeamento do fluxo de valor tradicional para uma proposta de mapeamento do fluxo de valor hídrico. O último item deste capítulo trata da integração das fases do mapeamento do fluxo de valor hídrico com as etapas do método de pesquisa adotado.

Capítulo 5 (Resultados e discussões): neste capítulo é conduzida uma análise detalhada do processo atual de produção em uma fábrica de alimentos, utilizando a Metodologia de Sistemas *Soft* para aplicação do mapeamento do fluxo de valor hídrico. Esta abordagem permitiu uma compreensão aprofundada dos fluxos de água envolvidos no processo de produção, permitindo identificar pontos de melhoria. Os resultados obtidos são discutidos em relação aos objetivos da pesquisa, destacando-se oportunidades de melhoria na eficiência do uso da água e possíveis impactos na sustentabilidade ambiental e econômica do processo produtivo da fábrica objeto de estudo.

Capítulo 6 (Conclusões): neste último capítulo ficam estabelecidas as conclusões da pesquisa, destacando as principais considerações acerca da aplicação do mapeamento do fluxo de valor hídrico, adaptado para este trabalho, no processo de produção da indústria de alimentos analisado por meio da MSS. Além disso, são discutidos os impactos desses resultados e são reafirmadas as recomendações para implementações futuras por parte da fábrica. Essas recomendações, do ponto de vista prático, visam direcionar iniciativas para melhorar a eficiência no uso da água, reduzir desperdícios e promover a sustentabilidade deste processo produtivo, contribuindo para uma gestão ambientalmente responsável e sem comprometer os elementos técnicos e econômicos da atividade industrial. As contribuições alcançadas com esta pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros encerram este documento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A manufatura sustentável

O conceito de sustentabilidade vem sendo abordado desde 1960, através do estabelecimento de agendas para manutenção do meio ambiente e da humanidade. Mas foi em 1987, no relatório "*Our Common Future*", da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED), que o termo Desenvolvimento Sustentável foi apresentado (Ferrer *et al*., 2022; Rogers; Jalal; Boyd, 2007). Este documento definiu o desenvolvimento sustentável como:

> O desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender as suas próprias necessidades (WCED, 1987, p.43).

Conforme Rogers, Jalal e Boyd (2007), este relatório é um marco para o desenvolvimento sustentável, visto que o mesmo sugere a integração entre as esferas econômicas, políticas, sociais e ambientais para o desenvolvimento. Para Jabareen (2008), a integridade ecológica e a sustentabilidade somente serão alcançadas com uma abordagem integrativa e holística sobre o desenvolvimento econômico-social.

No mesmo caminho, Blewitt (2008) definiu o desenvolvimento sustentável como a capacidade de proteger e conservar o ambiente natural do planeta, promovendo a equidade social e um grau de igualdade econômica dentro e entre nações. Em outras palavras, a sustentabilidade é garantida por três pilares: o econômico, o social e o ambiental (Figura 1). Estes pilares formam, juntos, o denominado *Triple Bottom Line* (TBL) e garantem o crescimento equilibrado (Ferrer *et al*., 2022; Mittal *et al*., 2017).

Desta forma, Rogers, Jalal e Boyd (2007) explicaram que a abordagem econômica da sustentabilidade deve maximizar a renda enquanto mantém uma reserva de capital constante ou crescente. Já a perspectiva ambiental tem a função de manter a resiliência e a robustez dos sistemas biológicos e físicos. Por fim, a ótica social deve estabilizar os sistemas sociais e culturais.

Figura 1: Pilares da sustentabilidade
Fonte: adaptado de Abualfaraa *et al*. (2020)

Por outro lado, adotar um modelo de desenvolvimento com menor impacto exige mudanças estruturais na forma como a sociedade produz e consome os recursos e, nesse sentido, as organizações têm um papel proativo no desenvolvimento de processos e serviços de fabricação mais limpos, alinhando suas estratégias de negócio às iniciativas verdes (Aligleri; Aligleri; Kruglianskas, 2016; Garza-Reyes, 2015).

A conexão entre a fabricação tradicional e a sustentabilidade ficou estabelecida com o desenvolvimento do conceito *Green Manufacturing* (GM), sendo este uma estrutura de fabricação que considera seu efeito no meio ambiente e no aproveitamento eficiente dos recursos (Pei *et al*., 2021). Segundo Garza-Reyes (2015), o GM surgiu como uma filosofia e uma abordagem operacional para reduzir o impacto ambiental, melhorando a eficiência da organização quanto ao uso dos recursos naturais sem deixar de atingir seus objetivos financeiros.

Para Deif (2011), a manufatura sustentável reflete o emprego de estratégias (metas e princípios) e técnicas (tecnologia e inovação) para melhorar a ecoeficiência. Já Ferguson e Toktay (2006) definiram este conceito como a produção em circuito fechado que envolve práticas de reciclagem e recuperação para reduzir os desperdícios, com o uso da tecnologia para um melhor aproveitamento dos recursos

naturais e para uma logística otimizada, diminuindo a poluição. Adicionalmente, Ferrer *et al*. (2022) salientam que a sustentabilidade na manufatura requer uma visão holística de todo o sistema de produção, da cadeia de suprimentos e, também, do ciclo de vida do produto.

Em termos gerais, a compreensão da manufatura sustentável, termo em português para *green manufacturing*, tem evoluído à medida que surgem novas práticas e novas necessidades, como a produção mais limpa (P+L) e a abordagem "3Rs" (reduzir, reutilizar e reciclar). Esta última tem como prioridade a recuperação do valor do produto final e da sua vida útil, retrabalhando-o para um ciclo de vida subsequente, em um fluxo de material quase que permanente (FERRER *et al*., 2022; Silva; Silva; Ometto, 2016). Ademais, os princípios do GM enfatizam a necessidade de avaliação dos processos produtivos com base no ciclo de vida do produto, na utilização de recursos, como água e energia, e nas emissões ambientais (LEONG *et al*., 2019).

Nesse contexto e, segundo Garza-Reyes (2015), a busca por operações sustentáveis compeliu as organizações a buscarem alternativas para combinar os meios produtivos tradicionais com os objetivos e iniciativas verdes, resultando em novos conceitos, como o *Green-Lean*. Em um levantamento sobre o estado da arte neste tema, Abualfaraa *et al*. (2020) concluíram que as práticas *lean* e *green* são complementares em muitos aspectos, alcançando efeitos sinérgicos quando aplicadas em conjunto. Os exemplos desses benefícios incluem a redução dos desperdícios operacionais e no uso dos recursos naturais, como comprovou o Almeida (2018) em seu estudo sobre integração entre a manufatura enxuta e a sustentabilidade em um canteiro de obra comparando os efeitos sinérgicos entre as duas filosofias.

De acordo com Leong *et al*. (2019), os sistemas da manufatura enxuta e da manufatura sustentável possuem objetivos semelhantes: minimizam as atividades que não agregam valor ao produto final e, quando incorporados simultaneamente, alcançam um forte desempenho operacional. Ambas procuram a eficiência e a eliminação de desperdícios, como mostrou Baraldi (2017) em seu estudo na indústria química e Tavares (2017) na indústria manufatureira.

Entretanto, Dües, Hua Tan e Lim (2012) ressaltaram que, embora as filosofias apresentem singularidades, a definição para ambas é diferente, uma vez que a manufatura enxuta tem como objetivo maximizar o lucro, enquanto na manufatura

sustentável o objetivo é reduzir riscos e impactos ambientais. Para Mollenkopf *et al*. (2010), enquanto a manufatura enxuta foca na eliminação de desperdícios e atividades que não agregam valor ao cliente, a manufatura sustentável esforça para diminuir o impacto negativo das organizações no ambiente, se preocupando com a eficiência dos processos no que diz respeito ao melhor aproveitamento dos recursos naturais (menor consumo) e à reciclagem dos materiais e resíduos.

Portanto, ambas as filosofias apresentam características que criam sinergias quando implantadas simultaneamente. Mas, para que esta relação seja sinérgica, o ambiente *lean* tem que estar favorável à implementação da filosofia *green*, assim como o ambiente *green* deve facilitar a aplicação das práticas *lean* (Dües; Hua Tan; Lim, 2012). Tal como salientaram Abualfaraa *et al*. (2020), a aplicação da manufatura enxuta e da manufatura sustentável como sistemas autônomos não assegura o equilíbrio entre os pilares da sustentabilidade. Neste cenário, Mollenkopf *et al*. (2010) explicaram que as empresas enxutas, que implementam técnicas de melhoria contínua, são mais propensas a aceitar inovações ambientais, isto porque a filosofia *lean* enfatiza a redução de desperdícios, criando um ambiente melhor para a filosofia, métodos e ferramentas sustentáveis.

Nallusamy *et al*. (2015) concluíram em seu estudo que a integração *lean-green* fornece um meio para a aplicação das melhores práticas enxutas e sustentáveis, de forma que a análise do fluxo de valor traz benefícios baseados no TBL. E neste mesmo sentido, Gotschol, De Giovanni e Vinzi (2014) e Mittal *et al*. (2017) afirmaram que o aprimoramento do desempenho ambiental surte efeitos no desempenho financeiro e social da organização.

Assim, para se alcançar o desenvolvimento sustentável, a partir de uma manufatura sustentável, faz-se necessário um equilíbrio em todas as dimensões do TBL, com o objetivo de melhorar a equidade social ao mesmo tempo em que se reduz o risco e a escassez ecológica, e se promove o crescimento econômico (WWC, 2015).

2.2 A gestão hídrica e o uso da água na indústria

A água é um bem fundamental para a humanidade, para o desenvolvimento econômico e para a manutenção dos sistemas ecológicos. No entanto, as incertezas relacionadas às mudanças climáticas e socioeconômicas têm se tornado um desafio para a gestão dos recursos hídricos. Segundo a UNESCO (2020), as mudanças no

clima afetam a disponibilidade, a qualidade e, principalmente, a quantidade de água disponível para a humanidade.

De acordo com Castro (2012), o crescimento populacional, a industrialização e a expansão da agricultura no século XX agravaram as questões de escassez e degradação da água ~~hídricos~~. Em um relatório sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos, a UNESCO (2020) afirmou que o consumo de água aumentou seis vezes nos últimos cem anos. Neste cenário, a pressão sobre o uso dos recursos hídricos cresceu e gerenciá-los de forma flexível, para lidar com as mudanças de disponibilidade e demanda, requer uma abordagem holística e integrada de todos os fatores (Bouwer, 2000). Pahl-Wostl *et al*. (2008) já haviam mencionado que as mudanças climáticas e socioeconômicas trariam novos desafios na gestão de recursos naturais, sendo necessário a implementação de abordagens integradas que levassem em consideração todos os *trade-offs* relacionados ao processo de gestão, principalmente, da água.

Ferraço (2019) explicou que a gestão dos recursos hídricos deve ser pautada na racionalização do consumo e na integração ambiental para o desenvolvimento sustentável. O autor definiu, ainda, a sustentabilidade como a relação equilibrada entre os recursos ambientais, econômicos e sociais, tal como já mencionado na seção anterior, e sendo a integração entre eles um dos pilares para a sua conservação.

O planejamento integrado deve ser direcionado para a otimização no uso dos recursos hídricos, com o objetivo de torná-lo um sistema mais resiliente e colaborativo entre os diversos *stakeholders* (Borges, 2021; Delozier; Burbach, 2021). Segundo a UNESCO (2021), a gestão integrada dos recursos hídricos deve envolver todas as partes interessadas da sociedade, economia e meio ambiente, visando alinhar os setores, políticas e instituições relevantes para se alcançar a segurança hídrica. Em outras palavras, esta gestão integrada é um paradigma da sustentabilidade e, segundo Al-Saidi (2017), deve compreender os aspectos de equidade social, eficiência econômica e eficiência ambiental, a partir de três elementos: instrumentos de gestão (alocação, informação e avaliação), ambiente favorável (políticas e legislações) e estrutura institucional (descentralização, secretarias e comitês).

Kolkman, Kok e Van der Veen (2005) definiram a gestão integrada dos recursos hídricos como uma abordagem cujo objetivo é fornecer uma visão de todos os aspectos dos problemas, a fim de se chegar em uma decisão equilibrada e sustentável. Ainda consoante aos autores, esta abordagem ~~integrada~~ deve levar em

conta os interesses ambientais, de segurança, saúde, patrimônio cultural/histórico, econômicos e sociais. Segundo a WWC (2015), a implementação de uma gestão integrada traz benefícios para as bacias hidrográficas, como a prevenção de enchentes e secas e a proteção do ecossistema. E ademais, Xavier e Bentes (2020) explicam que a gestão integrada dos recursos hídricos é preconizada por organismos internacionais, devendo ser adotada como elemento central nos sistemas de gestão de água dos países.

Neste caminho, no Brasil, a gestão integrada dos recursos hídricos é normatizada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº 9.433/1997, conhecida também como Lei das Águas, cujos objetivos são: (i) assegurar o acesso à água à atual e às gerações futuras, dentro dos padrões de potabilidade necessários; (ii) estabelecer a utilização racional e integrada dos recursos, garantindo, desta forma, o desenvolvimento sustentável; (iii) prevenir eventos hidrológicos críticos; e (iv) incentivar a captação de águas pluviais (BRASIL, 1997). Além disso, a PNRH fundamenta que a gestão da água deve ser descentralizada e com participação da sociedade (poder público, comunidade e usuários). Deve-se considerar a bacia hidrográfica como a unidade de planejamento para aplicar os instrumentos que visam os usos múltiplos e para a manutenção dos seus aspectos de qualidade e quantidade, uma vez que a água é um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico (Brasil, 1997).

Assim, a Lei das Águas tem papel estratégico para assegurar o acesso universal à água em quantidade e qualidade, buscando a segurança hídrica e a sustentabilidade dentro do território nacional (ANA, 2021a). A segurança hídrica, de acordo com a ONU, é definida como:

> A capacidade da população de ter acesso sustentável à água em quantidade e qualidade adequadas para a manutenção da vida e do bem-estar humano, garantindo o desenvolvimento das atividades econômicas, ~~garantindo~~ a proteção contra doenças e desastres associados à água, bem como a preservação dos ecossistemas (ONU, 2014).

Conforme a ANA (2021a), o conceito de segurança hídrica é associado às dimensões da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) e a uma quarta dimensão: a resiliência (Figura 2). Essas quatro dimensões devem ser balizadoras

para a gestão da água, garantindo a equidade ao acesso, a preservação do recurso natural e a prevenção e mitigação de impactos causado por crises e desastres ambientais (ANA, 2021a).

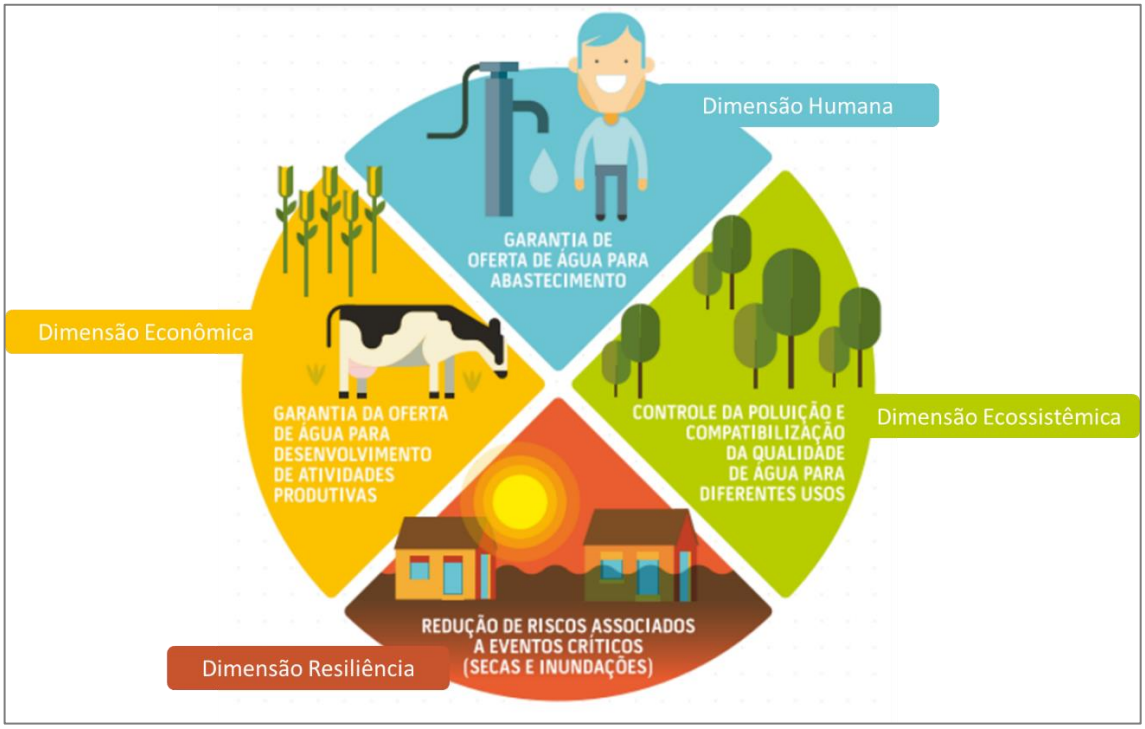


Figura 2: Dimensões da segurança hídrica

Fonte: adaptado de ANA (2021a)

Para Silva *et al*. (2019), a segurança hídrica deve ser associada à segurança alimentar e à segurança ambiental, evidenciando-se a necessidade de uma gestão pautada na adaptação e nos riscos de falhas do sistema hídrico, visto que uma falha neste sistema (excesso ou falta de água) impacta diferentes setores socioeconômicos.

Enfim, o conceito de segurança hídrica tem o intuito de garantir que os ecossistemas hídricos sejam protegidos e possam garantir o desenvolvimento sustentável, de forma que as pessoas tenham acesso à água potável a um custo acessível (ANA, 2021b; WWC, 2000).

Por outro lado, garantir água em quantidade e qualidade também é uma premissa da gestão de recursos hídricos para a manutenção dos sistemas econômicos. A UNESCO (2012) explicou que a demanda pelo consumo de água origina de quatro grandes fontes principais: agricultura, energia, indústria e consumo humano. A produção agrícola corresponde a 70% do total de água retirada dos mananciais hídricos pelo mundo (UNESCO, 2012; WWC, 2015). Já no Brasil, a

agricultura irrigada corresponde a 50% dos usos consuntivos, seguida pelo abastecimento urbano, com 25%, e a indústria, com 9% da água outorgada, como demonstrado na Figura 3 (ANA, 2021a).

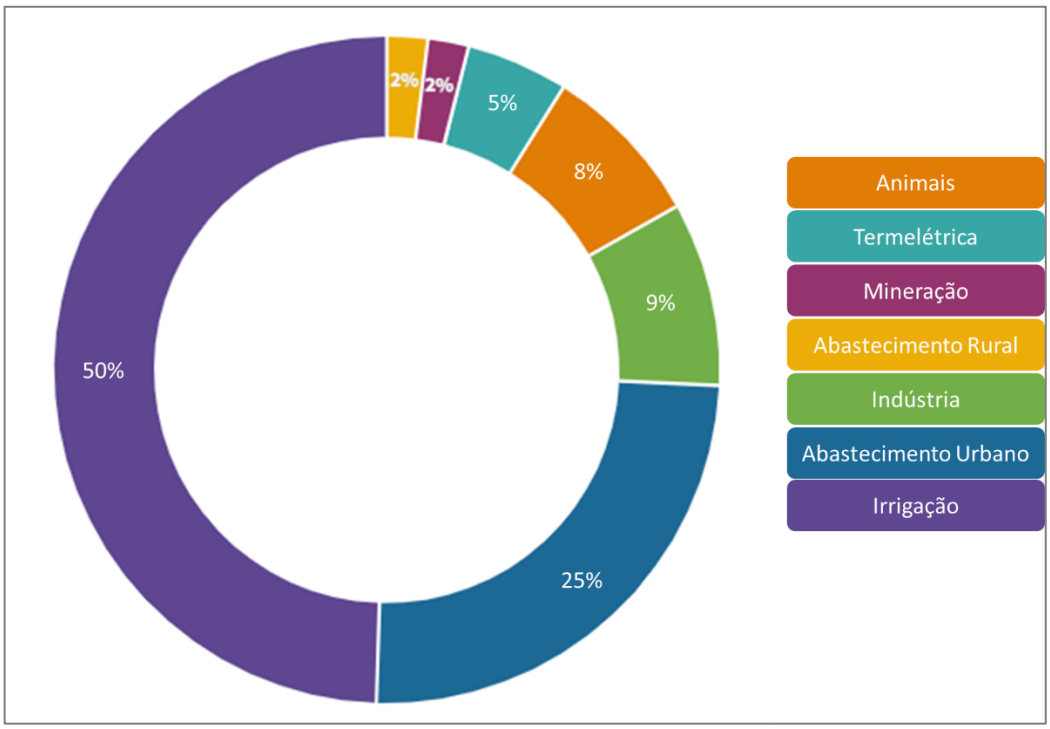


Figura 3: Usos consuntivos setoriais de água no Brasil

Fonte: adaptado de ANA (2021a)

De acordo com a UNESCO (2021), há um aumento projetado de 400% na demanda global por água na indústria até o ano de 2050, fato este que se deve à expansão da produção, especialmente, em países da Ásia e da América Latina. No Brasil, segundo a ANA (2021a), a projeção do aumento do consumo de água no setor industrial é de 42% até 2040. Nesse sentido, a preocupação com a eficiência no uso da água pela indústria deve ocupar lugar estratégico, principalmente nas que utilizam de forma intensiva este recurso (CNI, 2013). De acordo com Mierza e Hespanhol (2005), a mentalidade da água como uma *commodity*, no Brasil, só foi adquirida a partir da década de 1990, com o avanço da PNRH. Entretanto, apesar da crescente demanda por água e do impacto causado pelo lançamento de efluentes, o papel dos recursos hídricos no setor industrial brasileiro ainda é pouco estudado (ANA, 2019).

Nas indústrias, o uso da água nos processos produtivos se caracteriza de diversas formas: como insumo de fabricação, em sistemas de utilidade (resfriamento, caldeiras, limpeza de matérias-primas e produtos, por exemplo) e para fins sanitários

(refeitórios, banheiros, limpeza geral). Assim, a demanda e a intensidade na utilização da água na indústria refletem o tipo de produto ou serviço que está sendo produzido e os processos industriais envolvidos (ANA, 2019; WWC, 2015). Com efeito, as indústrias de transformação com maior demanda de recursos hídricos no Brasil, de acordo com dados da ANA (2019), são os setores alimentício, petroleiro e de celulose. A primeira é responsável pela retirada de, aproximadamente, 40% da água consumida na indústria, já a indústria de petróleo, 16%, e a indústria de celulose consome cerca de 13% da água retirada.

Adicionalmente, as projeções para as retiradas de água nos próximos vinte anos, com um aumento de 42% até 2040, reforçam a necessidade de ações de planejamento no seu uso para garantir a segurança hídrica e evitar possíveis crises. (ANA, 2021a). Esta realidade traz desafios à gestão da água nos diversos setores econômicos e sociais, e no Brasil, que apesar de ser considerado um país com recursos hídricos abundantes (cerca de 12% da água doce do mundo), este é um recurso desigualmente distribuído no território (OECD, 2015). A este fato soma-se a distribuição irregular do setor industrial no território nacional, onde há regiões com atividade industrial intensificada, que aumentam as pressões sobre os sistemas hídricos, e regiões onde praticamente não há atividade industrial (ANA, 2017). Geograficamente, a região Sudeste tem a maior demanda de água para as atividades industriais, com cerca de 47%, seguida pela região Nordeste, com 22%, e pela região Sul, com 18%. Isso mostra que o setor industrial brasileiro não está instalado nas regiões com maior disponibilidade hídrica, como a região Norte, onde a demanda de água na indústria é em torno de 3% (ANA, 2017).

Em síntese, os argumentos e os dados anteriores colocam a indústria num papel fundamental do setor econômico no uso da água, visto que ela é um importante insumo para os processos produtivos. Portanto, o mapeamento do uso efetivo da água na indústria justifica-se como necessário e útil para a manutenção da segurança hídrica e para a disseminação de boas práticas de consumo. Segundo a WWC (2015), o crescimento econômico, a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento social só serão possíveis se existir uma ênfase na gestão dos recursos hídricos, com uma infraestrutura hídrica resiliente e uma capacidade dos governos para a implementação de políticas apropriadas e efetivas para este fim.

2.3 A Manufatura Enxuta

O *Lean Manufacturing* (LM), cunhado em português como Manufatura Enxuta (ME), é uma filosofia de gestão focada na redução de desperdícios, inicialmente aplicada em fábricas automotivas japonesas como Sistema Toyota de Produção (STP), contrapondo o Sistema de Produção em Massa implementado por Henry Ford (Ohno, 1997).

O sistema de Henry Ford tinha como principal característica a padronização de peças e a verticalização da produção, juntamente com a criação da linha de montagem móvel para a redução do tempo de circulação de operários. Em outras palavras, a linha de produção de Ford criou o fluxo de trabalho (Ohno, 1997; Womack; Jones; Ross, 2004).

Em contrapartida, o modelo de gestão enxuta surgiu na Toyota com a necessidade de adaptar a produção de automóveis à realidade japonesa no pós-guerra, onde havia baixo crescimento econômico, baixa demanda e a necessidade de variabilidade de veículos. Womack, Jones e Ross (2004) afirmaram que a Toyota, sob o comando de Taiichi Ohno e Eiji Toyoda, desenvolveu um novo modelo de produção, onde em essência a produção seria alinhada à demanda de novos produtos.

O Sistema Toyota de Produção, segundo Ohno (1997), trabalha com a premissa de eliminar totalmente a superprodução gerada pelo excesso de estoques. O autor descreve que a produção enxuta adota como lema “produção em pequenos lotes e troca rápida de ferramentas”, enquanto a produção em massa foca na produção em grande quantidade para reduzir custos.

Nas indústrias do ocidente, a difusão da filosofia enxuta ocorreu a partir de 1990 com o livro “A Máquina que Mudou o Mundo”, de Womack, Jones e Ross (2004), onde seus estudos possibilitaram conhecer e entender as diferenças de paradigmas entre a produção nas empresas japonesas e ocidentais (Santos, 2021; Santos; Gohr; Santos, 2012). Tais diferenças, conforme levantamento feito pelos autores, ocorreu a partir de uma gestão integrada de princípios e técnicas com intuito de reduzir desperdícios e atender às necessidades dos clientes. Nesse sentido, Santos (2016) reafirmou que a Manufatura Enxuta pode ser definida como um método de eliminação sistemática de desperdícios alinhando produção e demanda.

Sob o mesmo ponto de vista, Shingo (1996) elucidou que o Sistema Toyota de Produção organiza os processos de forma a ajustar a quantidade dos produtos no

tempo certo para a próxima etapa da linha de produção e, por consequência, garantir que a demanda esteja pronta com a qualidade e no prazo de entrega exigido pelo cliente.

A eficiência e a qualidade do Sistema Toyota de Produção podem ser ilustradas na representação gráfica denominada Casa STP (Figura 4), desenvolvido por Fujio Cho para propagar o pensamento enxuto nas organizações (Oliveira, 2019).

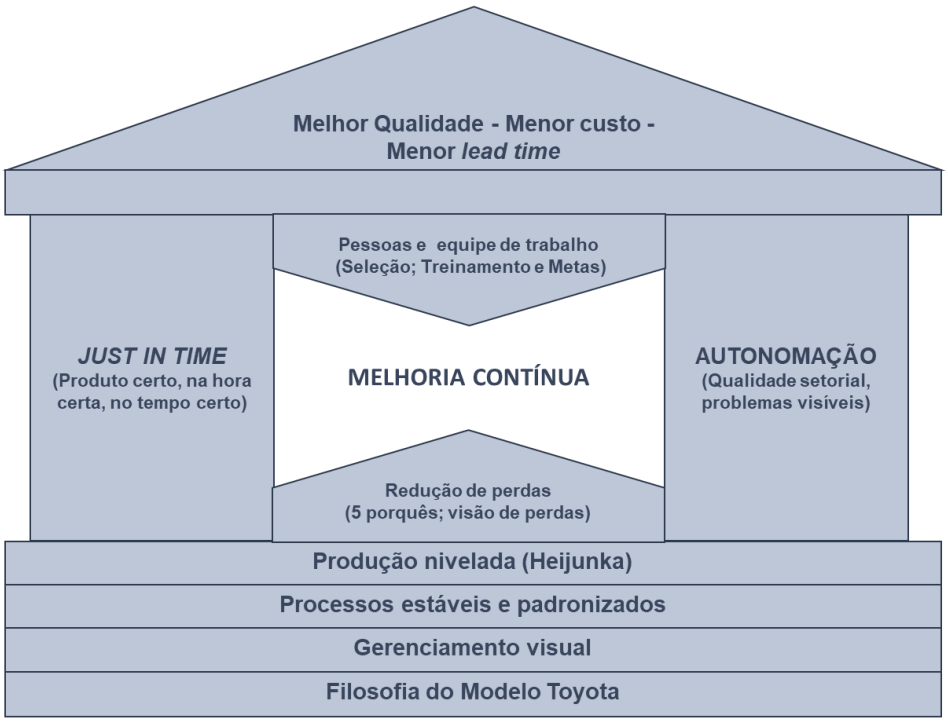


Figura 4: Casa do Sistema Toyota de Produção

Fonte: adaptado de Liker (2005)

A Casa STP, ou simplesmente Casa Toyota, de acordo com Liker (2005), é um modelo estrutural como representado na Figura 4, na qual o telhado simboliza as metas de melhor qualidade, menor custo e menor *lead time* que se pretende alcançar; as colunas constituem o *Just-in-Time* e a Autonomação como os pilares para amparar todo este sistema. Já no centro deste conceito estão as pessoas, como responsáveis pela melhoria contínua e, finalmente, na base, tem-se o nivelamento da produção, processos estáveis e padronizados, a gestão visual e a Filosofia *Lean*. Este último conjunto de ferramentas e conceitos garantem a estabilidade para todo o sistema (LIKER, 2005). Resumidamente, a Casa Toyota serve como bússola para aplicar as práticas *lean* e alcançar as metas da organização (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2016).

O Sistema Toyota de Produção, consoante Palange e Dhatrak (2021), foi adotado por diversos países e indústrias que buscam melhoria da qualidade, redução de custo, flexibilidade e resposta rápida. E, segundo Ohno (1997), a manufatura enxuta acontece a partir da observação da linha do tempo do produto, desde o pedido até a entrega, de forma que se possa reduzir os desperdícios tangíveis e intangíveis.

Em suma, a manufatura enxuta é uma estratégia de gestão da produção com o propósito de aumentar a produtividade e melhorar a qualidade mediante a redução de desperdícios na cadeia produtiva (Womack e Jones, 2004; Shingo, 1996). Para tanto, Womack e Jones (2004) introduziram no livro “A mentalidade enxuta nas empresas” o conceito de pensamento enxuto que, conforme os autores:

> É a forma de especificar valor, alinhando na melhor sequência as ações que criam valor, realizar atividades sem interrupção toda vez que alguém as solicita e realizá-las de forma cada vez mais eficaz (Womack e Jones, 2004, p.3).

Os autores consideram que o pensamento enxuto pode ser resumido em cinco conceitos-chave, denominados de princípios enxutos:

I. **Especificar valor:** valor, segundo Womack e Jones (2004), é o ponto de partida para a manufatura enxuta e é definido pelo cliente final, considerando o processo como um todo. O valor para o cliente representa a satisfação da sua necessidade em um determinado momento. E, como afirmaram Pinheiro e Toledo (2014), cabe à empresa entender qual é a necessidade do cliente e satisfazê-la;

II. **Fluxo de valor:** é o conjunto de ações necessárias e específicas para criar um determinado produto, isto é, o fluxo de valor envolve todo o mecanismo organizacional, desde sua concepção até sua entrega para o consumidor final (Womack e Jones, 2004). A análise do fluxo de valor mostrará três tipos de ocorrências ao longo da cadeia produtiva: as atividades que agregam valor, as que não agregam valor e as que não agregam valor, mas são necessárias para o processo de produção (Womack e Jones, 2004);

III. **Fluxo contínuo:** após identificar o valor, as atividades que o agregam e eliminar os desperdícios, é preciso que as etapas criadoras de valor fluam no sistema

produtivo, sem interrupções, isto é, criar um sistema uniforme, com fluxo enxuto e equilibrado (Womack e Jones, 2004; Pinheiro e Toledo, 2014; Santos, 2021);

IV. **Produção puxada:** no STP, a produção puxada consiste em fazer somente o que o cliente quer e quando necessitar. Em outras palavras, o sistema puxado significa programar e produzir, um bem ou serviço, exatamente de acordo com a demanda real do consumidor, seja ele interno ou externo (Womack e Jones, 2004);

V. **Perfeição:** a perfeição passa a ser uma consequência do pensamento enxuto com a eliminação contínua e cíclica de desperdícios, a partir da interação dos quatro princípios anteriores (Womack e Jones, 2004).

Considerando ainda os cinco conceitos-chave definidos anteriormente, Shahriar *et al*. (2022) definem as atividades agregadoras de valor como funções responsáveis por transformar um produto no que os clientes desejam, isto é, os clientes estão dispostos a pagar pelo produto mais valioso e atraente. Os mesmos autores definem atividades de suporte como as atividades que não agregam valor diretamente ao produto, mas são necessárias para as atividades criadoras de valor e devem estar sob constante avaliação, para que não sejam funções desnecessárias ou excessivas no processo de produção. Já as atividades que não agregam valor são aquelas que adicionam custo ao produto sem agregar valor ao mesmo e, desta forma, os clientes não estão dispostos a pagar por elas, sendo consideradas desperdícios dentro da linha de produção enxuta (Shahriar *et al*., 2022).

Com efeito, Womack e Jones (2004) esclareceram que o termo “desperdício” tem origem na expressão japonesa *Muda*, cuja definição é dada como qualquer atividade humana que absorve recursos, mas não cria valor. E Ohno (1997) constatou, em suas observações, a existência de sete tipos de desperdícios que suscetibilizam o sistema de produção: (i) superprodução, que é o excesso de inventário e/ou informações; (ii) espera, sendo períodos de ociosidade, acarretando em *lead times* longos; (iii) transporte excessivo, referindo-se ao movimento excessivo de informações e produtos; (iv) processos inadequados, que se tornam processos desnecessários e não criam valor para o cliente; (v) inventário desnecessário, sendo o excesso de armazenamento de materiais, que os torna desnecessários e resulta no aumento de custos; (vi) movimentação desnecessária, causando baixo desempenho

ergonômico no ambiente de trabalho; (vii) e os produtos defeituosos, como resultado de problemas de qualidade que causam baixo desempenho na entrega para o cliente.

A identificação e eliminação desses desperdícios é de fundamental importância no STP, para que os sistemas operem da forma mais eficiente, reduzam custos e ofereçam valor contínuo aos seus clientes.

Um fluxo contínuo, para Rother e Shook (2012), ocorre quando os produtos fluem pelo sistema de produção de maneira rápida e eficiente, com mínimo desperdício e interrupção. Adicionalmente, um fluxo otimizado e eficaz tem como premissas: a eliminação de lotes de produção entre as etapas do processo, a redução do tempo de espera, a sincronização entre as etapas de produção e a redução dos níveis de inventário ao longo da cadeia de valor. A busca por um fluxo contínuo contribui para a eliminação das operações desnecessárias e facilita a identificação e correção de problemas, uma vez que problemas de qualidade, manutenção, procedimentos incorretos e outros erros operacionais tendem a interromper toda a linha produtiva.

Com relação à produção puxada, um item começa a ser produzido somente quando há uma necessidade definida, isto é, a produção é orientada e regulada pela demanda real do cliente (Womack e Jones, 2004). Assim como o fluxo contínuo, a produção puxada tem como objetivos a redução de inventário, a minimização de desperdícios e uma produção sincronizada e flexível.

Para os autores Womack e Jones (2004), ao buscar a perfeição as organizações reconhecem que sempre há espaços para melhorias, independente de quão eficientes seus processos possam ser. O conceito de perfeição tem seu alicerce na melhoria contínua, no aprendizado e adaptação, no envolvimento de toda a organização, na redução de desperdícios e na visão de longo prazo.

Definitivamente, a finalidade do pensamento enxuto nos sistemas produtivos é a busca contínua pelo aperfeiçoamento em direção a um estado ideal, isento de qualquer forma de desperdício e de atividades que não agregam valor ao cliente final.

Pinheiro e Toledo (2014) salientaram que a implementação da manufatura enxuta requer a utilização de técnicas que possam servir como mecanismos operacionais do pensamento enxuto. Neste contexto, as ferramentas enxutas são aplicadas para promover a aplicação da filosofia dentro da cadeia produtiva, garantindo, de fato, o funcionamento dos princípios *lean*.

2.3.1 Ferramentas e práticas enxutas

A seguir são conceituadas as principais técnicas empregadas no contexto da manufatura enxuta e disseminadas na literatura sobre o tema:

- **Programa 5S (Cinco sensos):** é um método de melhoria com o objetivo de criar um local de trabalho que satisfaça alguns dos critérios do pensamento enxuto: ambiente limpo e organizado (Alves Queiroz, 2015; Santos, 2021). O programa 5S pode ser traduzido para o português como os cinco sensos (senso de utilização, senso de organização, senso de limpeza, senso de padronização e senso de autodisciplina), que facilitam a manutenção do local de trabalho e consiste numas das principais bases para a implementação da manufatura enxuta (Alves Queiroz, 2015).

- ***Kaizen*:** definido como uma prática que busca a melhoria contínua de um processo individual ou de um fluxo, contribuindo para o aumento do valor do produto e auxiliando na identificação e eliminação dos desperdícios ao longo do tempo (Alves Queiroz, 2015; Pinheiro e Toledo, 2014). Segundo o *Lean Enterprise Institute* (2003), existem dois níveis de *Kaizen*: o *Kaizen* de fluxo e o *Kaizen* de processo. O primeiro foca nas melhorias do fluxo de valor, voltado a identificar e melhorar o fluxo de materiais e informação; já o *Kaizen* de processo é voltado para os processos individuais e visa a eliminação de desperdícios no chão de fábrica (Rother e Shook, 2012).

- **Fluxo contínuo:** um processo em fluxo contínuo tem o objetivo de eliminar as paradas e reinícios da produção, reduzindo o *lead time* e o estoque em processo, além de propiciar também melhorias na qualidade (Lean Institute Brasil, 2009). Rother e Shook (2012) explicaram que o fluxo contínuo significa produzir uma peça por vez, com cada parte do produto passando de um estágio do processo para o subsequente, sem paradas. Para Rother e Harris (2001), o fluxo contínuo é o último objetivo da produção enxuta e criar um fluxo contínuo é uma das metas de melhoria contínua pelo *Kaizen*.

- **Autonomação (*Jidoka*):** a autonomação, ou *Jidoka*, é um dos pilares que sustenta o STP e significa a automação com inteligência humana (Lean Enterprise Institute, 2003). O princípio do *Jidoka* é identificar as ocorrências de problemas, para que o trabalho pare imediatamente. Consequentemente, os problemas de produção deixam de propagar ao longo dos processos seguintes, obrigando os operadores envolvidos a identificarem suas causas raízes. Assim, tem-se uma melhoria nas operações dos processos e na qualidade dos produtos (*Lean Enterprise Institute*, 2003). Baudin (2007) definiu o *Jidoka* como sendo um conjunto de princípios do projeto de um sistema de automação, detectando anormalidades no sistema e sendo um importante pilar na filosofia do pensamento enxuto. Sem ele, fica impossível alcançar as metas da casa STP (Figura 5).

Figura 5: A implementação do Sistema Toyota de Produção sem o *Jidoka*
Fonte: adaptado de Baudin (2007)

- ***Takt-time:*** está relacionado ao tempo de produção, isto é, é o tempo que um produto deve ser trabalhado e passado ao processo seguinte, obedecendo um ritmo de produção definido a partir da demanda do cliente. (Linck e Cochran, 1999). Igualmente, Frandson, Berghede e Tommelein (2013) definiram o *takt-time* como a unidade de tempo dentro do qual um produto deve ser produzido (oferta) para corresponder a demanda (taxa de produção), sendo fundamental para o funcionamento de um fluxo puxado. A compreensão do *takt-time*, segundo Alvarez e Antunes Jr. (2001), não deve ser imposta apenas pelo ritmo de produção necessário para atender a demanda, mas também, como a capacidade real do sistema de produzir efetivamente para atendê-la.

- **Gestão visual:** segundo o *Lean Enterprise Institute* (2003), esta técnica consiste em colocar todas as informações, indicadores, ferramentas, peças e procedimentos do sistema produtivo à vista, para que a situação do sistema seja entendida imediatamente por todos os envolvidos. São ferramentas que buscam comunicar e transparecer a eficácia e/ou eficiência das ações por meio de um gerenciamento de desempenho (Eaidgah *et al.*, 2016). A gestão visual é, essencialmente, uma estratégia de gestão da informação no sistema enxuto, utilizada para fins gerenciais por sua simples aplicação e *design* gráfico intuitivo. (Tezel e Aziz, 2017).

- **Cinco por quês:** Ohno (1997) propôs uma ferramenta simples que facilitasse a análise rápida da causa raiz de um problema, na qual é preciso questionar o "por quê" cinco vezes. É uma ferramenta para encontrar a solução para o problema e não para os seus sintomas, sendo essencial em ambientes com equipes autônomas (Fernando e Rivera Cadavid, 2007). Igualmente, Liker (2005) acrescentou que os "cinco por quês" é uma técnica para encontrar causas profundas e sistemáticas de um problema e, da mesma forma, encontrar soluções definitivas para este.

2.4 Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)

O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), do inglês *Value Stream Mapping* (VSM), segundo Rother e Shook (2012), é uma ferramenta que enxerga e entende o fluxo de materiais e informações à medida que um produto segue o fluxo de valor. O fluxo de valor, ainda de acordo com os autores, é toda ação necessária para movimentar um produto por todos os processos que agregam valor até o consumidor final. Segundo o *Lean Enterprise Institute* (2003), o MFV é um diagrama das etapas envolvidas nos fluxos de materiais e informações necessários à fabricação de um produto, analisando o fluxo de etapas e informações dos processos desde a origem até a entrega ao cliente. O MFV utiliza um conjunto de símbolos para representar as diversas atividades e informações do processo produtivo.

A Figura 6 ilustra, de maneira geral, o processo de mapeamento de um sistema produtivo pela lógica do MFV, desde a identificação da necessidade do cliente, passando pelo pedido de matéria prima e atravessando a fase de produção, até, finalmente, a entrega ao cliente.

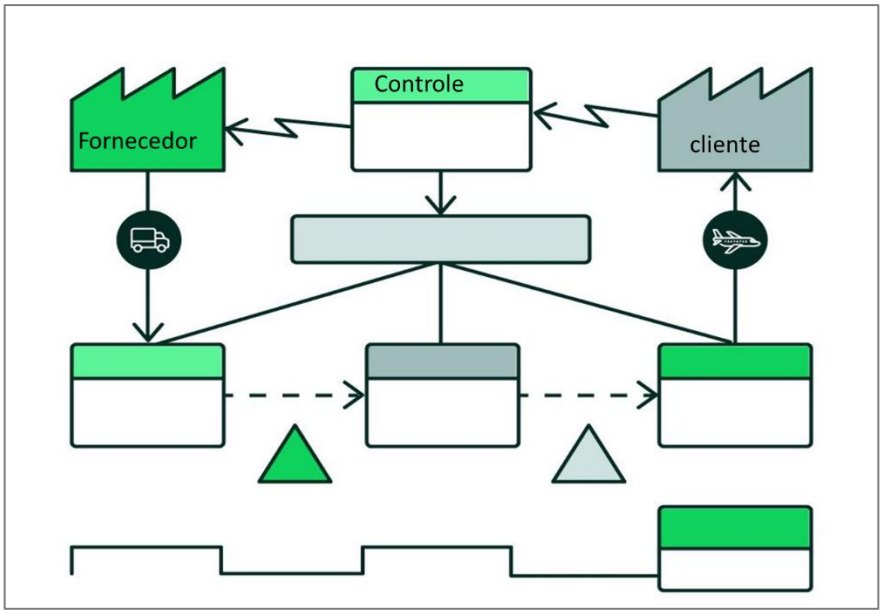


Figura 6: Representação geral do Mapeamento do Fluxo de Valor

Fonte: adaptado de Lean Six Sigma Brasil (2020)

Ao mapear o fluxo de produção, a organização estabelece um diagnóstico do sistema, guiando para o processo de identificação dos desperdícios de produção (Santos, 2016). Para Rother e Shook (2012), o MFV é uma linguagem de comunicação, planejamento e gerenciamento que, por meio de uma trilha de produção, identifica os processos desde o consumidor até o fornecedor, utilizando-se de uma representação visual. Santos, Gohr e Santos (2012) explicaram que o MFV é uma técnica abrangente de mapeamento de processos, com simbologia e procedimentos definidos, sendo um dos métodos para a implementação da manufatura enxuta. Ainda em concordância com os autores, o objetivo desta técnica é mapear o fluxo de materiais e informações de uma cadeia de valor, descrevendo o estado atual do processo e orientando para um estado futuro.

O MFV revela a interdependência entre o fluxo de materiais e o fluxo de informação, sendo uma ferramenta qualitativa que descreve com detalhes o funcionamento de uma unidade produtiva para estabelecer o seu fluxo de valor (Rother e Shook, 2012). Ademais, os autores destacaram que o fluxo de materiais representa o movimento dos produtos dentro da fábrica, sendo desenhado da esquerda para a direita na parte inferior do mapa (vide Figura 6), enquanto que o fluxo de informação, desenhado da direita para esquerda na parte superior do mapa,

comunica aos processos o que fabricar e a sequência de trabalho, como representado na Figura 7.

Figura 7: Sentido de mapeamento dos fluxos de materiais e de informação em um MFV
Fonte: Rother e Shook (2012)

Rother e Shook (2012) definiram o MFV como uma ferramenta essencial para identificar os processos de produção em um sistema enxuto, bem como ajudar no reconhecimento das técnicas e ferramentas que devem ser aplicadas nos processos, além de detectar os desperdícios. Os autores acrescentaram, ainda, que o mapeamento do fluxo de valor conecta as ferramentas da manufatura enxuta e indica, pela análise do fluxo de produção, a melhor forma de usá-las.

Segundo Locher (2008), o MFV é uma ferramenta eficaz e comprovada para avaliar os processos e redesenhá-los com base nos conceitos da manufatura enxuta. Ele foi desenvolvido para facilitar a identificação dos desperdícios e suas fontes, contribuindo para atingir as metas permanentes da manufatura enxuta (Santos; Gohr; Santos, 2012). Para Locher (2008), o principal benefício do MFV não está apenas na representação do estado atual do processo, mas sim nas ações e resultados alcançados após implementar o estado futuro do fluxo de valor. O MFV é uma ferramenta que torna mais efetivo os esforços *Kaizen* ou qualquer outra técnica de produção enxuta (Kach *et al.*, 2014; Rother e Shook, 2012).

2.4.1 Implementação do MFV

Para orientar o uso do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) em sistemas produtivos, Rother e Shook (2012) delinearam as quatro etapas de implementação da técnica, conforme representado na Figura 8. Dessa forma, o primeiro passo para

iniciar o mapeamento é a definição da família de produtos (ou projetos) que serão alvo do processo de mapeamento. Locher (2008) e Rother e Shook (2012) definiram a família de produtos como o conjunto de produtos que compartilham processos similares, ou seja, as principais atividades realizadas são parte de um mesmo fluxo produtivo. Portanto, o mapeamento do fluxo de valor deve ser inicialmente realizado para uma família de produtos específica e, posteriormente, estendido para toda a linha de produtos (Rother e SHOOK, 2012).

Seguindo as fases de implementação do MFV, a próxima etapa é o desenho do mapa do estado atual (Figura 8). Este passo, consoante Abdulmalek e Rajgopal (2007), captura o que está sendo realizado no chão de fábrica no momento, isto é, representa o processo real e fornece base para analisar o sistema e identificar o que agrega valor ou não ao produto.

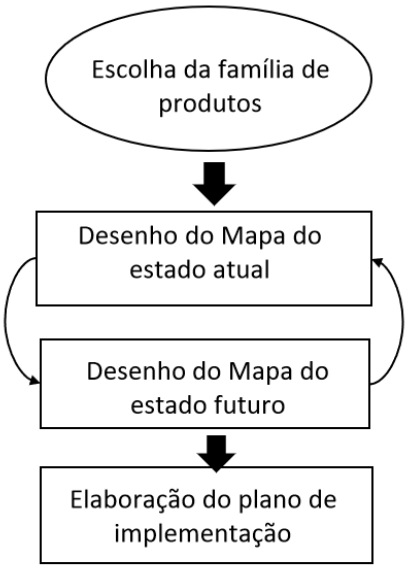


Figura 8: Fases de implementação do MFV
Fonte: Rother e Shook (2012)

Nesta fase, algumas características, segundo Rother e Shook (2012), devem ser definidas no sistema: a demanda/cliente, pois gera previsões de compras e, consequentemente, de ordem de produção para fabricação; o fornecedor/entregas, sendo responsável pelos tempos de início de fabricação e insumos; o fluxo de materiais, sendo responsável pelo caminho e tempo de produção; e o fluxo de informações, responsável por agregar as informações relacionadas a partir da necessidade demanda até a entrega para o cliente.

Assim, Rother e Shook (2012) indicaram coletar os dados relacionados ao fluxo de materiais e ao fluxo de informações, pois estes dados comunicam o que está acontecendo no momento atual do processo a ser mapeado. Em outras palavras, no processo de mapeamento do estado atual, devem ser identificados os processos da cadeia de suprimentos, o fluxo de materiais desde o fornecedor até a entrega para o cliente, o fluxo de informações que se inicia com o pedido do cliente e as atividades e tempos envolvidos. O Quadro 1 lista os dados que Rother e Shook (2012) propuseram como críticos para a elaboração do MFV.

Quadro 1: Dados para elaboração do mapa do estado atual

Dado coletado	Definição
Tempo de Ciclo (TC)	Relativo ao tempo de produção de um produto ou tempo que um operador gasta para percorrer todas as suas atividades até reiniciá-las.
Tempo de Agregação de Valor (TAV)	Tempo total das atividades que agregam valor dentro do processo produtivo.
Lead Time (LT)	Tempo gasto por um produto para percorrer todo o fluxo de valor, desde a chegada da matéria-prima até a entrega para o cliente.
Tempo de Troca (TR)	Tempo necessário para a mudança de fabricação de um produto diferente, também denominado *setup*.
Estoque	Quantidade de material disponível em estoques para a produção, intermediários ou acabados.
Disponibilidade do processo	Quantidade de tempo disponível dos recursos necessários para a fabricação.
Índice de retrabalho (ou refugo)	Quantidade peças, em valores percentuais ou absolutos, que não apresentaram a qualidade esperada pelo cliente.
Número de operadores	Quantidade de trabalhadores disponíveis dentro do fluxo mapeado.

Fonte: adaptado de Rother e Shook (2012) e Abdulmalek e Rajgopal (2007)

A interface gráfica do mapa do estado atual é construída a partir das informações coletadas no chão de fábrica, utilizando de simbologia e ícones

específicos. Conforme Abdulmalek e Rajgopal (2007), é no mapa do estado atual que os desperdícios e as áreas de melhorias são identificados.

Após a elaboração do mapa do estado atual, o terceiro passo para a implementação de um MFV consiste na construção do mapa do estado futuro, onde é definido como o sistema deve ficar depois que os desperdícios identificados forem suprimidos (ABDULMALEK e RAJGOPAL, 2007). A construção do mapa do estado futuro segue oito questões-chave, tal como proposto por Rother e Shook (2012):

I. **Qual o *takt time* que alinhará a produção à demanda?** Refere-se ao ritmo de produção necessário para atender a demanda do cliente sem acarretar em desperdícios.

II. **Produção de supermercado para produtos acabados ou produção para expedição?** A definição do tipo de sistema puxado adotado pela empresa define a ordem de produção. Em outras palavras, os supermercados são indicados para sistemas com demanda pouco variável, já os sistemas de expedição são indicados para pedidos do tipo *Make-To-Order* (Galhardo, 2019).

III. **Como estabelecer o fluxo contínuo?** No fluxo contínuo, cada etapa do processo é cuidadosamente sincronizada e integrada com as etapas anteriores e posteriores, de modo que o fluxo de materiais, informações e trabalho ocorra de maneira fluida e eficiente. Isto é, no fluxo contínuo os processos são organizados para minimizar ou eliminar interrupções, atrasos ou desperdícios, através de um ciclo constante.

IV. **Qual o processo que deve estabelecer o sistema puxado?** Quando não é possível estabelecer o fluxo contínuo, é necessário implantar um sistema puxado para que se produza o necessário e quando solicitado (Rother e Shook, 2012). No sistema puxado, a produção é iniciada somente quando há um pedido real do cliente ou uma demanda clara e imediata.

V. **Qual processo irá ditar o ritmo de produção?** É relativo ao processo que recebe a programação de produção e, dessa forma, encadeia o ritmo dos demais processos (Rother e Shook, 2012). Estabelecer o processo que dita o ritmo de produção é fundamental para garantir a eficiência da sincronização das operações.

VI. **Qual o nivelamento do *mix* de produção?** Relativo à distribuição uniforme de diversos produtos ao longo do tempo, garantindo que sejam fabricados em um ritmo constante e em pequenos lotes (Galhardo, 2019). Em outras palavras, o nivelamento do *mix* de produção é uma estratégia importante para melhorar a eficiência e a flexibilidade dos processos produtivos, garantindo uma operação mais ágil em face de variações na demanda do mercado.

VII. **Qual o volume de produção?** Refere-se a equilibrar quantidade produzida, distribuindo uniformemente ao longo do tempo o volume a ser produzido. É uma estratégia de programação da produção que busca estabilizar e suavizar o fluxo dos produtos ao longo do tempo, eliminando os picos e vales na demanda para manter uma produção constante e, dentro do possível, previsível.

VIII. **Quais melhorias podem ser inseridas no processo para que o fluxo de valor atinja a perfeição?** Deve-se promover as melhorias no processo com a aplicação de melhoria contínua (*Kaizen*). A adoção dos princípios *Kaizen*, integrando-os na cultura da empresa, cria um ambiente para a excelência operacional.

Portanto, o mapa do estado futuro é criado a partir das respostas para esse conjunto de questões, necessárias para a redução dos desperdícios do estado atual e para a criação de um fluxo de valor enxuto (Abdulmalek e Rajgopal, 2007). Rother e Shook (2012) explicaram que o mapa do estado futuro deve estar alinhado ao cliente para criar um fluxo contínuo e sem estoques desnecessários.

O último passo da Figura 8 consiste na implementação do estado futuro e na observação dos resultados, para que novas melhorias possam ser notadas visando revisões e evoluções contínuas do fluxo de valor enxuto. Sendo assim, à medida que o estado futuro vai sendo reanalisado, ele passa a ser considerado como um novo estado atual, promovendo o ciclo de melhoria contínua representado na Figura 8 (Rother e Shook, 2012).

A criação do mapa do fluxo de valor requer a utilização de um conjunto de símbolos previamente definidos. Esses símbolos representam os diferentes elementos do processo produtivo, desde o fluxo de materiais e informações até as diferentes operações e estoques. No entanto, é importante destacar que novos símbolos podem ser inseridos no mapa para representar detalhes particulares e

específicos de um determinado contexto organizacional (Carvalho e Carvalho; 2017) A Figura 9 a seguir apresenta a simbologia tradicional de um MFV.

Figura 9: Símbolos utilizados no mapeamento do fluxo de valor

Fonte: Carvalho e Carvalho (2017)

Os símbolos utilizados durante as fases do mapeamento buscam representar os processos da forma mais fiel possível, e permitem uma compreensão mais completa e precisa do fluxo de valor. Assim, a visão simbólica da cadeia de valor evidencia áreas de melhoria, identifica gargalos, processos com superprodução ou outros focos de desperdício, direcionando para o desenvolvimento de soluções e estratégias de melhoria dos processos.

2.5 Mapeamento do Fluxo de Valor Sustentável

Os estudos de Rother e Shook (2012) foram orientados para aplicação em sistemas de manufatura, com intuito inicial de identificar o tempo de processo em cada célula produtiva, mapear todo o espaço percorrido no fluxo de valor e reduzir os desperdícios de fabricação. No entanto, trabalhos como o de Santos, Gohr e Santos (2012) e Locher (2008) salientaram que o MFV pode ser adaptado para outros processos além da cadeia de suprimentos. Entre os vários exemplos encontrados na literatura, Salgado *et al*. (2009) utilizaram o MFV para identificação de desperdícios no processo de desenvolvimento de produtos; Bal, Ceylan e Taçoğlu (2017), Eller (2009) e Lummus, Vokurka e Rodeghiero (2006) empregaram a técnica para

avaliações em serviços hospitalares; Rabnawaz, Ahmed e Zhang (2021) recorreram ao mapeamento do fluxo de valor para estudos ligados à gestão de canteiro de obras; e Devi e Putu (2020) aplicaram o MFV no setor de energia.

Já Sodkomkham, Ratanatamskul e Chandrachai (2021) utilizaram o MFV, junto com outras técnicas, para otimizar o gerenciamento de água em uma indústria de eletrônicos na Tailândia, enquanto Folinas *et al*. (2014) empregaram o mapeamento do fluxo de valor para determinar os desperdícios de água, energia e processamentos sem valor agregado em uma indústria alimentícia. Lintang e Harwati (2019) aplicaram o MFV em uma indústria têxtil a fim de identificar os desperdícios de energia, consumo excessivo de água e emissão de gases tóxicos ao meio ambiente. Há, ainda, a aplicação do MFV em uma indústria de cigarros para analisar e mensurar o consumo de água em toda a planta (Kauer, 2021).

Os exemplos anteriores de pesquisas publicadas reforçam os vários benefícios por trás de uma ferramenta como o MFV, como uma linguagem em comum, a visualização de todo o processo, os fluxos entre operações e, principalmente, a identificação dos desperdícios, além de funcionar como uma ferramenta de melhoria contínua, que pode ser aplicada aos diferentes processos organizacionais (Keyte e Locher, 2004; Locher, 2008; Rother e Shook, 2012). Muñoz-Villamizar *et al*. (2018) concluíram em seu trabalho que a aplicação do MFV é capaz de integrar a produtividade com o desempenho ambiental, resultando em um melhor desempenho geral da organização.

Nesse sentido, Faulkner e Badurdeen (2014) desenvolveram um método denominado Sus-MFV, que trata justamente da integração da sustentabilidade com o mapeamento de fluxo de valor em uma mesma ferramenta. O método inclui uma análise econômica-operacional, semelhante à proposta inicial de Rother e Shook (2012); uma análise ambiental, que considera métricas ambientais, como o consumo de água, energia e matéria-prima; e uma análise social, que avalia os riscos potenciais do ambiente de trabalho num contexto ergonômico.

A abordagem pelo Sus-MFV reconhece a interdependência entre a eficiência operacional e a responsabilidade ambiental, buscando otimizar não apenas a produtividade e a qualidade, mas também o uso dos recursos naturais, energia e a minimização de resíduos (Faulkner e Badurdeen, 2014). Esta proposta sustentável do mapeamento do fluxo de valor promove a adoção de práticas de produção mais limpas

e ecologicamente corretas. O Quadro 2 resume as principais características do Sus-MFV:

Quadro 2: Características gerais do Mapeamento do Fluxo de Valor Sustentável (Sus-MFV)

Característica	Descrição
Abordagem de ciclo de vida	Considera o ciclo de vida completo dos produtos e processos. Isso significa avaliar não apenas as etapas de produção, mas também o impacto ambiental ao longo de toda a cadeia de valor, desde a extração de matérias-primas até o descarte do produto final. Essa abordagem permite identificar oportunidades para reduzir o impacto ambiental em todas as fases do ciclo de vida do produto.
Análise do fluxo de materiais e energia	O MFV sustentável se concentra na análise detalhada do fluxo de materiais e energia dentro dos processos de produção, por meio da identificação de fontes de desperdício, como materiais descartados, energia desperdiçada e emissões de gases de efeito estufa. Ao entender melhor como os materiais e a energia são utilizados, as empresas podem implementar medidas para reduzir o consumo e minimizar os impactos ambientais.
Foco na eficiência energética e uso de recursos	A eficiência energética e o uso responsável de recursos naturais são pilares do MFV sustentável, por meio da identificação de oportunidades para reduzir o consumo de energia, água e outros recursos naturais.
Minimização de resíduos e emissões	Consiste na implementação de práticas de reciclagem e reutilização de materiais, na redução da geração de resíduos sólidos e líquidos, e na implementação de tecnologias de controle de poluição para reduzir as emissões atmosféricas.
Adoção de tecnologias limpas e renováveis	Incentiva a adoção de tecnologias limpas e renováveis em vez de fontes de energia fóssil, como a implementação de sistemas de energia solar, eólica ou hidrelétrica, bem como o uso de materiais e produtos com menor pegada de carbono.

Fonte: adaptado de Faulkner e Badurdeen (2014)

O uso eficiente dos recursos naturais representa um dos pilares essenciais do mapeamento de fluxo sustentável, cujo propósito é promover o desenvolvimento econômico e social de maneira equilibrada e integrada. A Figura 10 ilustra um modelo de mapeamento sustentável desenvolvido Faulkner e Badurdeen (2014) para uma indústria de manufatura e, embora a água apareça, a sua relevância é colocada em perspectiva dentro de uma abordagem mais ampla, onde múltiplos fatores são integrados para garantir uma gestão holística e sustentável dos recursos naturais.

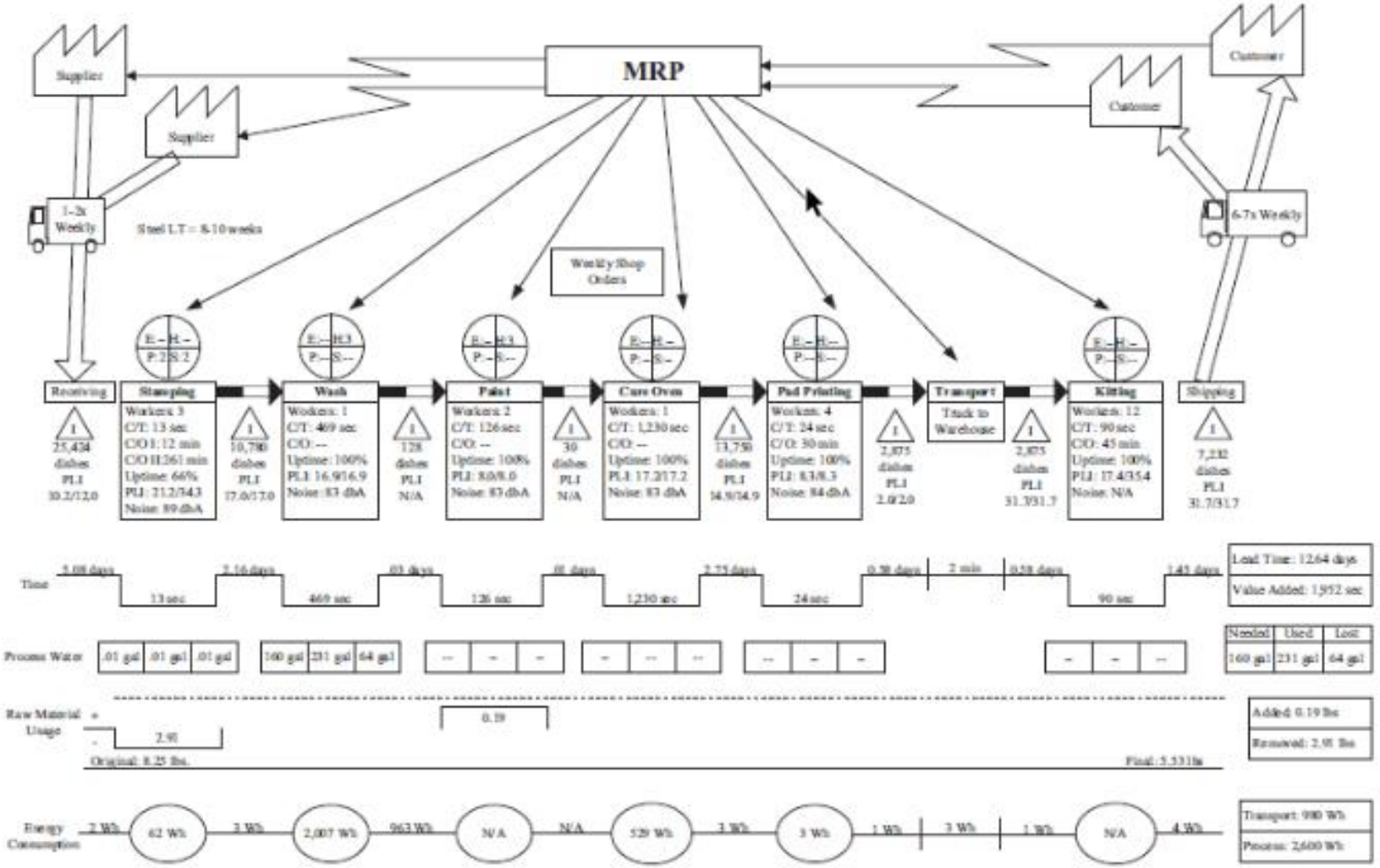


Figura 10: Mapeamento de Fluxo Sustentável do processo de manufatura.
Fonte: Faulkner e Bardudeen (2014)

Enfim, os fundamentos apresentados ao longo deste capítulo justificam o mapeamento do fluxo de valor como uma ferramenta essencial para os processos de gestão organizacional, tanto em sua forma porta-a-porta, como na abordagem convencional, ou num escopo mais amplo, como no Sus-MFV, o que corrobora, além de complementar, o que afirmaram Keyte e Locher (2004). Isto acontece uma vez que o MFV auxilia a equipe de gestão a visualizar e detalhar como a organização atua no estado atual, e como deve se reconfigurar no estado futuro, impactando nos tempos de ciclo, tempo de agregação de valor, cumprimento da demanda, custo, serviço e qualidade dos produtos e, mais recentemente, na sustentabilidade ambiental.

3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

As pesquisas bibliográficas consistem em um conjunto de informações e dados que produzem conhecimento a partir de documentos, isto é, um conjunto de obras publicadas sobre uma teoria que direcionará o trabalho científico (SOUSA; OLIVEIRA; ALVES, 2021). Nesta dissertação é adotada a revisão bibliográfica sistemática, que compreende em um método bibliográfico para a avaliação de um conjunto de dados de forma simultânea (Atallah E Castro, 1998).

Galvão e Ricarte (2019) explicam que a revisão sistemática segue protocolos específicos e busca dar logicidade a um grande corpo documental, possuindo um alto nível de evidência na tomada de decisão. Segundo os autores supracitados, este tipo de revisão é orientado para a reprodutibilidade por outros pesquisadores, através da apresentação das bases de dados bibliográficos consultadas, estratégias de busca empregadas, processo de seleção, inclusão e exclusão de artigo e forma de análise.

Deste modo, este trabalho propôs uma revisão sistemática do estado da arte, com a premissa de identificar o que está sendo estudado em relação ao uso de manufatura enxuta e a gestão hídrica. O protocolo de pesquisa segue as etapas recomendadas por Rother (2007) e demonstrado na Figura 11. Primeiramente, se define o objetivo da pesquisa e em seguida a questão a ser investigada na literatura. O terceiro passo consiste em definir a estratégia de busca, como definição da plataforma, operadores e palavras-chave. Posteriormente, foram delimitados os critérios de inclusão e exclusão de artigos no estudo, por exemplo, o período de análise de dados. Os passos seguintes consistem na seleção de documentos e a extração de informações e, por fim, a análise e interpretação dos dados obtidos.

Portanto, seguindo as etapas determinadas no protocolo, delineou-se a forma da revisão sistemática a ser adotada neste artigo. Nesta análise do estado da arte, o objetivo é detectar estudos que proponham métodos que englobem Manufatura enxuta nas questões referentes ao melhor uso de recursos hídricos. E, desta forma, responder à questão de pesquisa: “O que já foi proposto em relação a aplicação do uso combinado da Manufatura Enxuta e o uso eficiente da água?”.

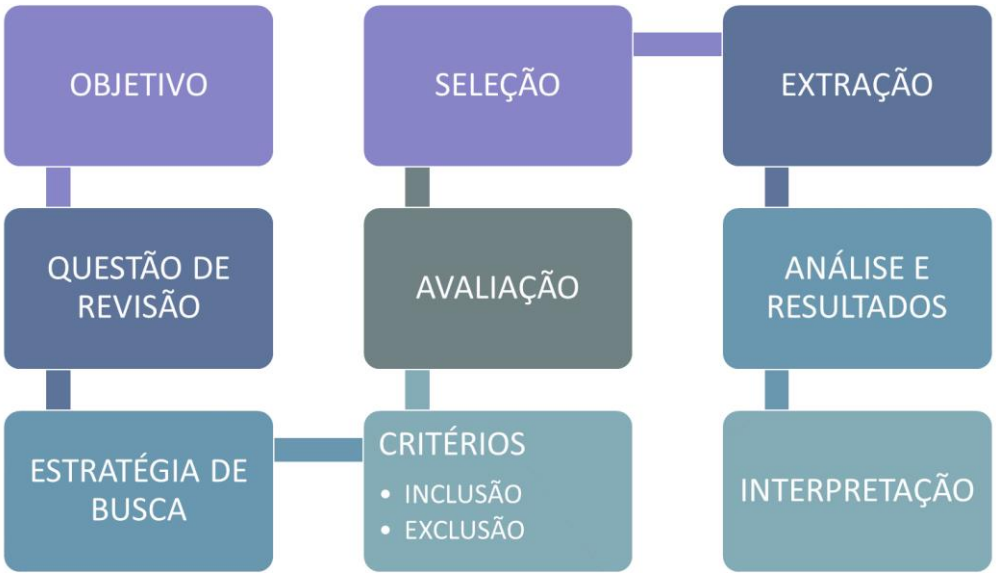


Figura 11: Etapas da Revisão Sistemática de Literatura
Adaptado de: Rother (2007)

O terceiro passo compreende na definição da estratégia de busca de estudos. Logo, para seleção de artigos, que compõem a revisão sistemática, foi utilizada a plataforma Scopus, a qual fornece um panorama abrangente da produção de pesquisas em diversas áreas. Já, o conjunto de palavras-chaves, mostrado na Figura 12, foi definido a partir do conhecimento prévio. Na busca foram utilizados os operadores AND, OR e “ ”. para combinação dos termos. As pesquisas foram realizadas utilizando os termos em inglês na plataforma Scopus e os resultados foram catalogados no MS Excel®.

Os critérios para inclusão e exclusão de estudos foram definidos por data (artigos publicados a partir de 1990 até abril de 2022), *open acess* e trabalhos que se aproximem da questão de pesquisa. Na sequência de etapas foi realizada a busca na plataforma Scopus, que resultou em 127 documentos, dos quais, após conferência dos títulos e abstract, 31 foram selecionados e organizados em uma base de dados com as seguintes informações: título da publicação, autores, data de publicação, país de origem, resumo, palavras-chave, metodologia e ferramentas, tipologia industrial e periódico publicado. Ao final do registro das informações foram procedidas análises para a identificação das principais tendências de pesquisas no contexto enxuto, no que diz respeito à sua relação com a gestão de recursos hídricos.

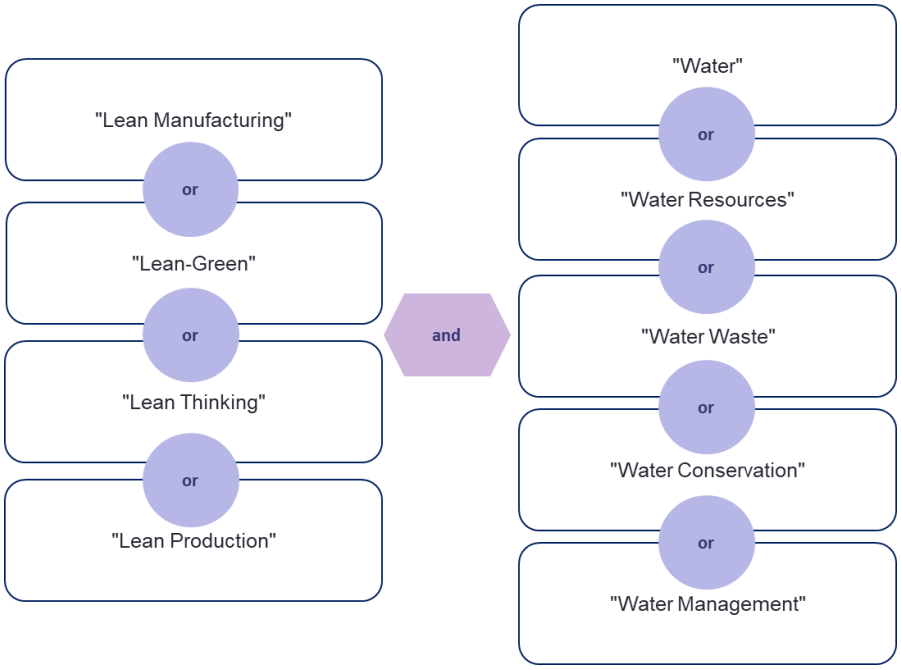


Figura 12: Conjunto de palavras-chaves definido para a revisão sistemática da literatura
Fonte: autoria própria

3.1 Análise Bibliométrica

A análise bibliométrica tem a função de auxiliar na identificação de tendências de crescimento do estado da arte em relação a um determinado assunto e a dispersão e obsolescências no campo científico (Soares *et al*., 2016). Assim, de posse do protocolo de pesquisa e dos documentos identificados na busca inicia-se o processo de análise bibliométrica para responder à questão de pesquisa: “O que já foi proposto em relação a aplicação do uso combinado da Manufatura Enxuta e o uso eficiente da água?”.

3.1.1 Distribuição das Publicações

De acordo com os dados coletados do Scopus, para o período considerado e os critérios definidos, as publicações relacionadas ao uso de ferramentas *Lean* e a gestão de recursos naturais iniciou em 2006, com variação do número de artigos publicados ao longo dos anos, como demonstra a Figura 13.

No ano de 2006 é possível identificar o primeiro estudo sobre o assunto, trata-se do artigo publicado por Vais *et al*. (2006), denominado “*"Lean and Green" at a Romanian secondary tissue paper and board mill - Putting theory into practice”* e foi publicado na Romênia, com intuito de conduzir um estudo em uma indústria de celulose para redução de efluentes descartados pela planta.

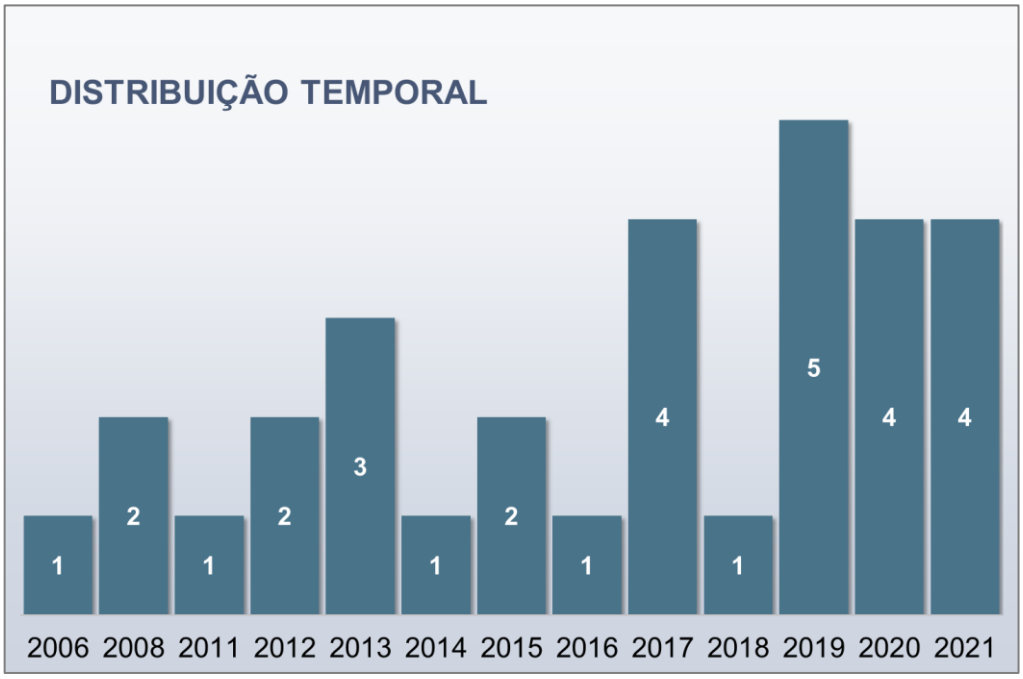


Figura 13: Distribuição temporal de publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria
Fonte: autoria própria

Entre os anos que resultaram em artigos pertinentes a pesquisa, se observa que não há uma continuidade nas publicações nos anos de 2007, 2009 e 2010, porém, a partir de 2011 as publicações demonstram tendência de aumento e constância, conforme as questões ambientais passaram a ser tema preocupante nas ações políticas-econômicas. Em 2019, cinco artigos foram publicados, representando um aumento de 40% em relação a primeira publicação identificada.

Já a Figura 14, apresenta a distribuição das publicações por território, onde os países em azul mais escuro representam os países com mais artigos publicados. Quando se analisa os documentos com relação aos países onde foram aplicados os estudos, nota-se que Portugal e Indonésia são os mais relevantes com cinco publicações cada, seguido por Estados Unidos, com 4, e Brasil, com 3 artigos.

Ainda na Figura 14, examinando por continente, tem-se a Ásia e Europa como os mais expressivos, com 10 artigos publicados cada, seguidos pelo continente americano, com 7 documentos, Oceania com 3 e África com uma publicação identificada através do Scopus.

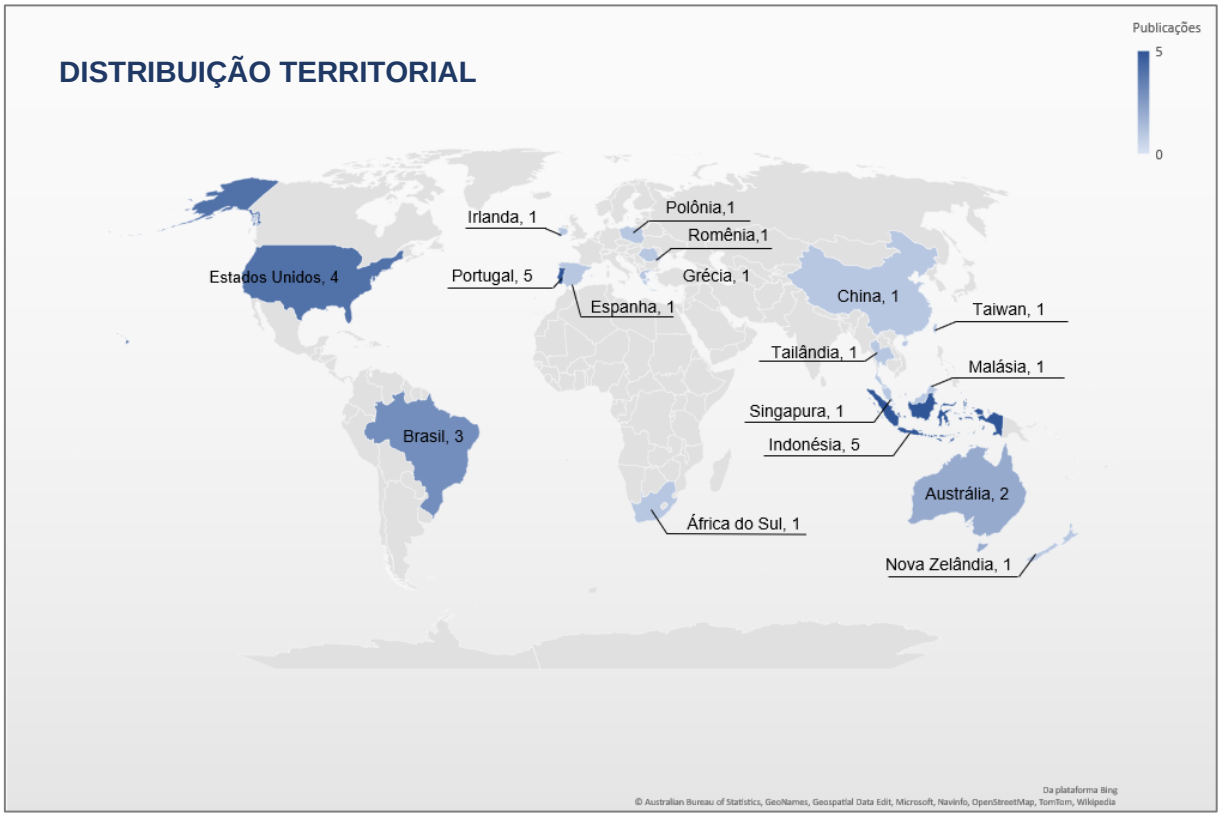


Figura 14: Distribuição espacial de publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria
Fonte: autoria própria

Por outro lado, a distribuição das publicações quanto a distribuição por tipologia industrial foi possível constatar oito áreas distintas de aplicação de estudos: celulose e papel, energia, saneamento, siderúrgica, alimentícia, têxtil, eletrônica e civil. Há ainda um estudo na área de gerenciamento de recursos hídricos e quatro estudos que propõe frameworks para a conexão *lean-green* com foco em redução do consumo de água e energia.

Conforme a Figura 15, o setor de construção civil é o que mais aplica estudos combinados de *lean* e *green*. Este número expressivo comprova o aumento do empenho acadêmico na expansão dos benefícios da produção enxuta no setor, como explica Camera (2015). A autora ainda revela em seu estudo, que no Brasil, o crescimento de publicações na área foi impulsionado pelo crescimento da construção civil que, consequentemente, viu a necessidade de aprimorar as práticas. Entretanto, Rabnawaz Ahmed e Zhang (2021) concluem em seu trabalho que a adoção de práticas sustentáveis na construção ainda necessita de planejamento e gerenciamento para lidar com os resíduos.

A Figura 15 revela, ainda, a necessidade de estudos nos setores de gestão, energia e celulose, cuja revisão sistemática da literatura indicou apenas 3% das

publicações. Nas indústrias de energia e celulose, a manufatura enxuta pode ser uma realidade nos processos, no entanto, para lidar com os desperdícios de água há uma escassez de estudos, expondo a necessidade de implementação de pilares de sustentabilidade que preconizem o uso da água.

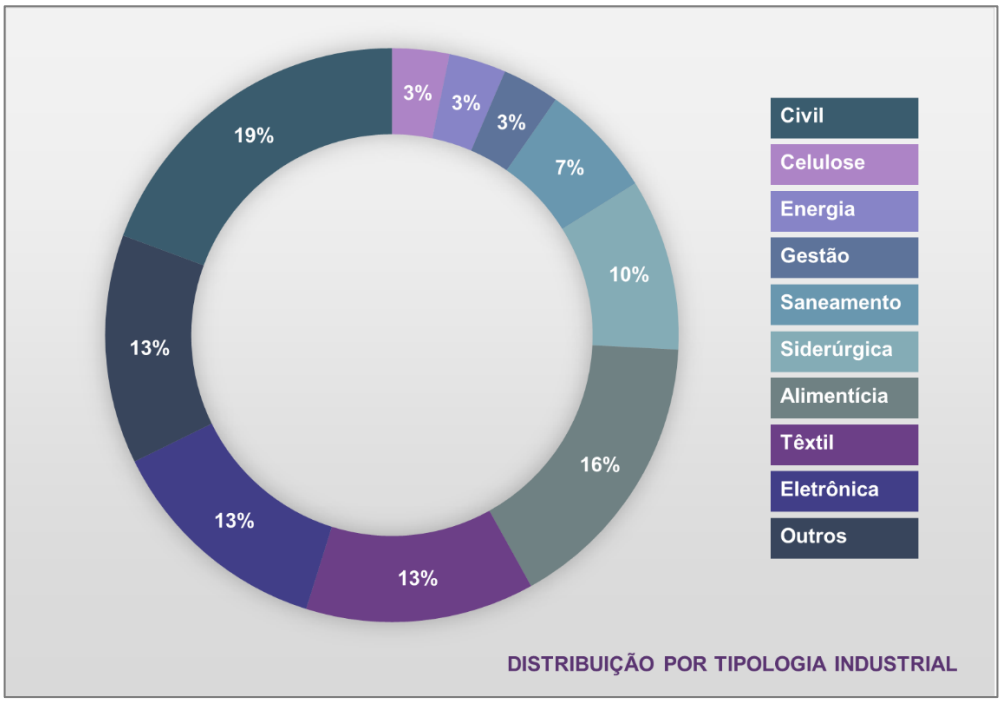


Figura 15: Distribuição por tipologia industrial de publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria
Fonte: autoria própria

Quando se analisa a gestão pública de água, a carência de estudos usando ferramentas *lean* fica ainda mais marcante, uma vez que o pensamento enxuto pode trazer benefícios a administração integrada deste recurso. Entre os documentos analisados, somente Chia e Gilbert (2012) exploraram a aplicação de um framework sob concepção de políticas de preservação de recursos naturais a um projeto complexo de gerenciamento de água em Singapura.

Já a análise de empresas de saneamento constatou que 7% dos artigos utilizam a filosofia a manufatura enxuta como embasamento de pesquisas. É um número irrisório quando se analisa as perdas que estes sistemas apresentam. Segundo Pereira e Brito (2010), os sistemas de abastecimento têm baixa eficiência no Brasil e que a aplicação de ferramentas *lean* reduz imensamente as perdas no processo. No entanto, os autores mencionados salientam que o setor se mostra resistente a mudança de cultura para novas formas produção. Já, Ngoune e Kholopane (2017) aplicam a filosofia *Lean Six Sigma* para identificar falhas no processo de abastecimento e, por consequência, mostram a utilidade de aplicação do

lean para a gestão hídrica. Tamjidillah *et al*. (2017) concluíram que as ferramentas enxutas podem ser eficientes na produção de água potável.

As indústrias de alimento, têxtil, manufatura e eletrônica apresentam publicações que aplicam ferramentas *lean* na tentativa de reduzir os danos ambientais a água ou o seu consumo excessivo. Como Viles *et al*. (2021), que empregam a telemetria na indústria de alimento para identificar o consumo exacerbado de água na organização e, assim, reduzir os desperdícios. Sodkomkham, Ratanatamskul e Chandrachai (2021) desenvolveram e aplicaram um sistema que integrava manufatura enxuta, *Internet of Things* (IoT) e *material flow cost accouting system* (MFCA) para gerenciar os recursos hídricos em uma empresa de eletrônicos. Enquanto Baumer-Cardoso *et al*. (2020), usando a abordagem de simulação a eventos discretos, tentou melhorar os indicadores de performance verdes e enxutos de uma fábrica siderúrgica. Jasiulewicz-Kaczmarek e Drozyner (2011) aplicam a manufatura enxuta para melhorar a eficiência de recursos utilizados em uma empresa de bebidas, com intuito de melhorar o desempenho econômico, social e ambiental.

Ainda analisando a Figura 15, o item denominado “Outros” se refere a estudos que desenvolveram frameworks, através de análises bibliométricas, para serem aplicados em qualquer setor industrial que deseja melhorar os indicadores de sustentabilidade, como Teixeira *et al*. (2021), que propuseram um modelo conceitual utilizando ferramentas *lean* e *green* para melhorar quesitos de sustentabilidade dentro da indústria.

3.1.2 Ferramentas aplicadas

Da avaliação bibliométrica, infere-se que foram utilizadas 27 ferramentas enxutas, sendo o Mapeamento de Fluxo de Valor (12) e *Just in Time* (10) as mais empregadas, seguidas de 5S, *Kaizen* e Ciclo PDCA, demonstrado na Figura 16. Segundo Caldera, Desha e Dawes (2017), as técnicas enxutas têm repercussão positiva na melhoria do desempenho de indicadores ambientais, como água, energia e emissões. Os autores afirmam que, a integração de ferramentas enxutas com métricas ambientais contribuem para modelos de negócios sustentáveis.

Consoante a afirmação de Caldera, Desha e Dawes (2017), o trabalho de Pinto Junior; Mendes (2017) comprovou que *lean tools* são eficientes na redução de impactos ambientais como o consumo de água, reduzindo o custo anual de produção. Porém, os resultados encontrados por Baumer-Cardoso *et al*. (2020), mostram a

necessidade de se conhecer as características de um processo produtivo antes de se afirmar que "*lean* é *green*". A Tabela 1 corresponde as ferramentas *lean* e *green* utilizadas nos estudos abordados.

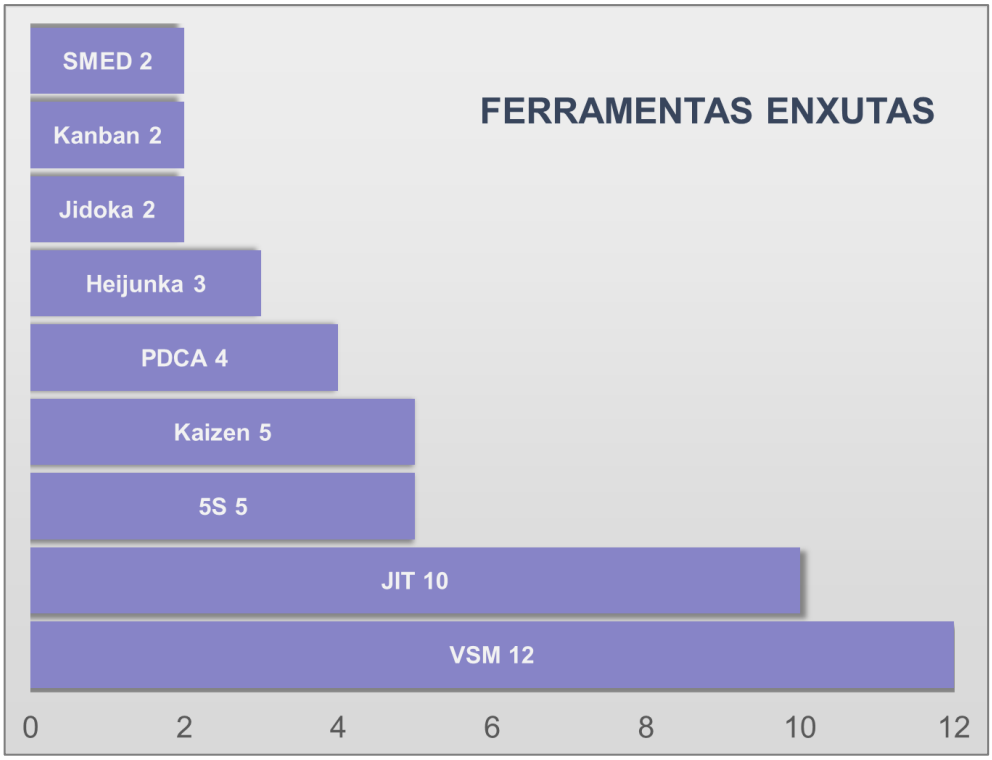


Figura 16: Ferramentas enxutas identificadas nas publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria
Fonte: autoria própria

Paralelamente, a aplicação do mapeamento de fluxo de valor foi constatada em estudos como de Sodkomkham, Ratanatamskul e Chandrachai (2021), que utilizaram a ferramenta para mapear o uso da água dentro da planta industrial, e Folinas *et al*. (2014), que empregaram o MFV para identificar os desperdícios da produção de alimentos e quantificar o uso da água e energia nos processos além das fronteiras organizacionais, mas não desenvolveram uma ferramenta especifica para monitoramento do fluxo da água.

Já Lintang e Harwati (2019) aplicaram o MFV para identificar os desperdícios de energia, consumo excessivo de água e emissão de gases tóxicos ao meio ambiente e, para isso, nomearam o modelo como MFV ambiental. A técnica dos autores segue o fluxo de valor tradicional, porém acrescentando parâmetros ambientais aos dados coletados.

Observa-se também a aplicação de muitas ferramentas ligadas ao princípio de melhoria contínua, como *kaizen*, ciclo PDCA e diagrama *Ishikawa*, demonstrando que

a busca pela perfeição em processos produtivos é constante e pode englobar todos os paradigmas do desenvolvimento sustentável.

Tabela 1: Ferramentas *lean* e green manufacturing identificadas nas publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria

Autores	Ferramentas Aplicadas
Viles *et al*. (2021)	5S | *Lean Green Tools*
Chia e Gilbert (2012)	PDCA | *Lean Green Tools* | *Jidoka*
Sodkomkham; Ratanatamskul; Chandrachai (2021)	MFV | PDCA | 3R
Ngoune e Kholopane (2017)	DMAIC
Vais *et al*. (2006)	*Kaizen* | 5S | 3R | DMAIC | Qualidade Total
Belayutham e González (2013)	JIT | *Heijunka*
Wang (2015)	6Rs
Folinas *et al*. (2014)	MFV | JIT | *Kaizen* | MRP
Lorenzon dos Santos *et al*. (2019)	MFV
Fernandes; Rocha; Costa (2019)	*Lean Green Tools*
Tamjidillah *et al*. (2017)	JIT
Maia, Alves, Leão (2013)	MFV | 5S | *Kaizen* | TPM | *Poka-Yoke*
Firmawan; Othman; Yahya (2012)	*Lean Construction tools* | 3R
Stoll *et al*. (2008)	MFV | JIT
Das (2019)	5S | JIT | *Lean Green Tools*
Rabnawaz Ahmed e Zhang (2021)	MFV
Lintang e HarwatI (2019)	MFV (ambiental) | JIT | JIT (ambiental)
Maia, Alves, Leão (2019)	*Lean Green Tools* | *Heijunka* | SMED | MFV
Baumer-Cardoso *et al.* (2020)	*Lean Green Tools* | MFV | *Kanban* | JIT
Romeira, Moura, Robaina (2020)	*Kanban* | JIT
Devi e Putu, (2020)	MFV | 5S | *Life Cycle Assessment* (LCA)
Nawanir *et al*. (2020)	JIT | *Heijunk*a | SMED | TPM | *Jidoka*
Megayanti; Anityasari; Ciptomulyono (2018)	MFV | SSC- MFV ambiental
Pinto Junior e Mendes (2017)	*Kaizen* | PDCA | *Ishikawa* | *Poka-Yoke* | Trabalho padronizado
Belayutham e González (2015)	SIPOC | 5PQ | MFV | Causa Raiz | JIT | *Kaizen*
Stach (2013)	*Lean Green Tools*
Jasiulewicz-Kaczmarek e Drozyner (2011)	*Lean Green Tools*
Maia, Alves, Leão (2012)	*Life Cycle Costing* (LCC) | PDCA

Fonte: autoria própria

Simultaneamente, as ferramentas denominadas de *lean-green tools* são indicadores-chave ligados a sustentabilidade ambiental, como o consumo de água e energia ou a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. Esses indicadores

apareceram em nove trabalhos, como se pôde notar na Tabela 1, e são considerados pelos autores como ferramentas de observação para alcançar a sustentabilidade da organização.

3.1.3 Termos relevantes

Na Figura 17 estão ilustradas as palavras-chave indicadas pelos autores dos documentos selecionados, a nuvem de palavras foi criada com o auxílio do *Pro Word Cloud*, um suplemento do Microsoft Office®.

Figura 17: Termos relevantes para análise do estado da arte das publicações sobre o uso combinado de manufatura enxuta e recursos hídricos na indústria
Fonte: autoria própria

A análise visual indica que os vocábulos *lean*, *manufacturing*, *green* e *sustainability* são os mais relevantes nas 31 publicações avaliadas, enquanto que o termo *water* aparece em menor escala, próximo a palavra *green*. Congruente a esta averiguação, confirma-se a necessidade de mais estudos que englobem sistemas enxutos e gerenciamento hídrico. As análises acadêmicas, como afirmam Caldera, Desha e Dawes (2017), tem focado mais nos pilares ambientais voltados a resíduos e energia. As ferramentas da produção enxuta também têm pouco destaque no quadro visual, visto que muitos autores não as usam como temas relevantes na pesquisa e, sim, como meios de aplicar.

3.2 Análise crítica do estado da arte

A proposta desta revisão envolveu análise bibliométrica e sistemática, na qual foram avaliadas as principais produções acadêmicas de acordo com métricas

estabelecidas através de uma metodologia. Assim, foi possível sintetizar o estado da arte sobre pesquisas envolvendo a filosofia da manufatura enxuta e a gestão sustentável de recursos hídricos. A avaliação abarcou análises de distribuição temporal e territorial de artigos, além da identificação dos principais setores industriais e das ferramentas enxutas utilizadas na integração do *lean* e da sustentabilidade. Por fim, ponderou-se sobre os principais vocábulos na identificação de temas relevantes na literatura enxuta.

Os resultados mostram uma tendência no aumento de publicações correlacionando produção enxuta e sustentabilidade a partir do plano de ação estabelecido pela Organização das Nações Unidas, a “Agenda 2030”. No entanto, estudos que correlacionem as técnicas enxutas ao uso eficiente da água ainda são pouco explorados. Caldera, Desha e Dawes (2017) afirmam a necessidade de investigar métodos enxutos integrados para dar suporte ao gerenciamento hídrico.

Outro aspecto de análise, demonstra a necessidade de pesquisa envolvendo pontos de interesse público, como saneamento e políticas públicas voltadas para a conservação da água, como os trabalhos de Chia e Gilbert (2012), que aplicaram o PDCA para estudar ações de conservação da água, Ngoune e Kholopane (2017), que utilizaram a abordagem *lean six sigma* para identificar falhas no processo de abastecimento de uma cidade, e Tamjidillah *et al*. (2017), que empregaram *Just in Time* para diminuir os desperdícios em uma estação de tratamento de água.

Em paralelo, a análise da distribuição das publicações por tipologia industrial permite, ainda, uma conjunção com os usos consuntivos setoriais no Brasil. Desta forma, os maiores consumos de água, segundo a ANA (2021a), são para a agricultura irrigada, seguida de abastecimento urbano e consumo industrial. No entanto, na análise bibliométrica proposta não resultou em estudos na agroindústria, evidenciando uma carência de pesquisas para otimização do uso da água no setor, mesmo sendo um dos grandes consumidores.

Já, o emprego de mapeamento de valor como técnica enxuta se mostra eficiente para identificar desperdícios relacionados aos quesitos ambientais, como consumo de energia e água. E, apesar de ser uma técnica originalmente aplicada para a cadeia de suprimentos, tem sido utilizada nos mais diversos setores econômicos de forma adaptada as necessidades. Porém, a ferramenta não foi desmembrada para

uma ferramenta específica para o setor hídrico, isto é, aplicada só para dados relacionados ao uso da água.

Em suma, a revisão de literatura demonstrou que a filosofia enxuta é uma abordagem crítica para o desenvolvimento sustentável, mas subutilizada para indicadores hídricos, deixando uma lacuna de conhecimento para o uso racional da água na indústria. Assim, para estudos futuros espera-se o desenvolvimento de *frameworks* que integrem o pensamento enxuto a parâmetros hídricos, considerando os pilares da sustentabilidade.

4 MAPEAMENTO DO FLUXO HÍDRICO

O mapeamento de fluxo de valor, como mencionado no capítulo de FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA, é uma ferramenta da Manufatura Enxuta responsável por identificar onde há valor em uma cadeia produtiva. Segundo Rother e Shook (2012), o mapeamento de fluxo de valor utiliza de uma trilha de produção para identificar os processos desde o consumidor até o fornecedor através de uma representação visual.

Entretanto, neste documento o mapeamento do fluxo de valor não identificará os tempos de processo ou o *lead time*, mas sim a quantificação e os desperdícios de uso da água nos processos. A trilha proposta por Rother e Shook (2012) para o mapeamento de fluxo de valor em processos produtivos será norteadora para a definição do mapeamento do fluxo hídrico.

No MFV tradicional, Rother e Shook (2012) destacam a interdependência entre o fluxo de materiais e o fluxo de informações, onde o primeiro refere-se ao movimento dos produtos dentro da fábrica, enquanto o segundo comunica aos processos o que deve ser produzido e a sequência de trabalho. Já no Mapeamento do Fluxo de Valor Hídrico (MFV-hídrico), o fluxo de informações auxilia na definição do uso da água dentro dos processos industriais, identificando como são tomadas as decisões relacionadas ao consumo de água e como essas decisões impactam as operações.

O fluxo de materiais, por sua vez, é representado pelo deslocamento da água ao longo do processo produtivo, desde sua captação, utilização em diferentes etapas, até seu descarte ou reaproveitamento. A Figura 18 é a representação do fluxo de informações e água no MFV-hídrico.

Figura 18: Sentido de mapeamento dos fluxos de água e de informação em um MFV-hídrico

Fonte: autoria própria.

Para orientar o uso do MFV-hídrico, a definição da família de produtos que ocorre no mapeamento tradicional será trocada para água que chega na planta e na identificação dos processos que a usam. Quanto ao desenho do mapa atual, os elementos tradicionais, como *lead time* e estoque, serão substituídos por dados como: o volume de água utilizado no início do processo, medido em m^3/s; pelo tempo das atividades hídricas que agregam valor ao produto final (TAV- hídrico); a disponibilidade do processo relativa ao tempo necessário da água no sistema; e, a medição da qualidade e do volume de água ao final do processamento e antes do descarte. A qualidade do recurso hídrico ao final do processo é uma questão importante, pois se conecta as questões legislativas e as questões de potabilidade para consumidores a jusante da área de descarte.

No desenho do mapa de estado futuro, são definidos os elementos-chave para trazer melhoraria ao processo, como mostra o Quadro 3. No MFV-hídrico futuro, é preciso definir o volume de água requerida (Q) necessário a cada processo, a qualidade da água requerida para o descarte (QLD) de acordo com a legislação e índice de potabilidade, estabelecer o reúso de água em processos que não exijam um padrão de qualidade e, por fim, aplicar *kaizen* ao processo para que ele se aproxime do estado ideal.

Quadro 3: Elementos-chave para definição do Mapa do estado futuro hídrico

Elementos-chave	Ação
Definir do volume de água requerido (Q)	Refere-se ao volume de água necessário para atender a demanda de produção.
Qualidade requerida para descarte (QLD)	Refere-se a qualidade da água ao final de cada processo para ser descartada.
Estabelecer reúso de água (R)	Refere-se a retornar parte da água utilizada no processamento para um processo que não exijam padrões potabilidade (por exemplo, descarga de banheiros).
Definir o volume de água usada (QD)	Definição do volume descartado.
Kaizen	Estabelecer melhorias no processo.

Fonte: autoria própria

A Figura 19 mostra a adaptação dos processos e a definição dos parâmetros que serão usados no mapeamento.

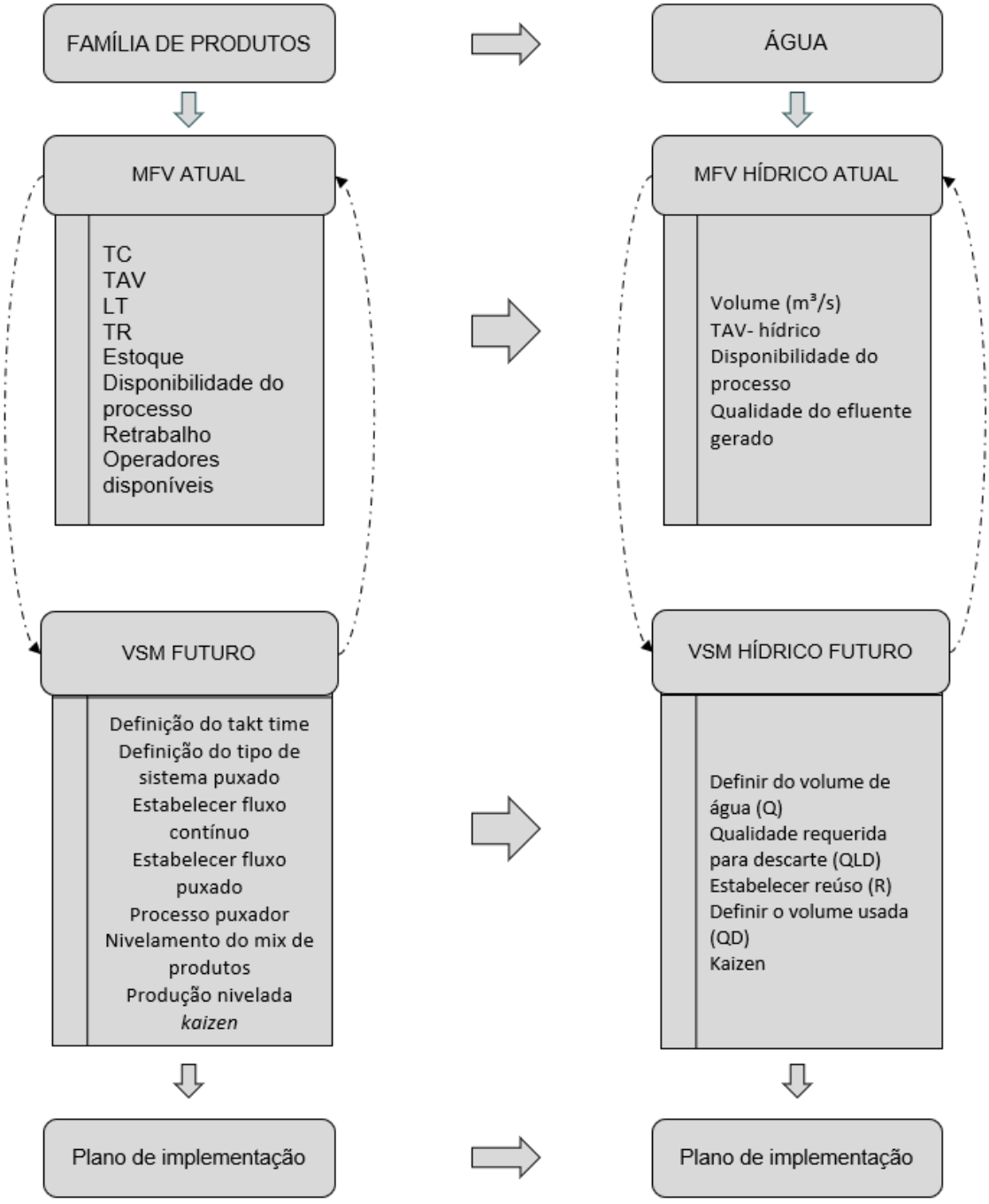


Figura 19: Fases de implementação do MFV adaptado para o Fluxo Hídrico
Fonte: autoria própria

O último passo da Figura 19 consiste na implementação do estado futuro e na observação dos resultados, para que novas melhorias possam ser notadas visando revisões e evoluções contínuas do fluxo hídrico. Sendo assim, à medida que o estado futuro vai sendo reanalisado, ele passa a ser considerado como um novo estado atual, promovendo o ciclo de melhoria contínua representado

O Mapeamento de Fluxo de Valor Hídrico se tornará uma ferramenta essencial para a gestão da água na empresa, uma vez que seu propósito é auxiliar a equipe de gestão a visualizar e comunicar tanto a atual atuação da organização quanto a direção que deve ser seguida no futuro.

A interface gráfica dos mapas do estado atual e futuro é construída a partir das informações coletadas no chão de fábrica, utilizando de simbologia e ícones específicos.

4.1 Simbologia

A simbologia no MFV tradicional é uma ferramenta visual essencial que facilita a compreensão dos processos produtivos, representando graficamente o fluxo de materiais, informações e operações dentro de uma cadeia de valor. Esses símbolos padronizados ajudam a identificar os desperdícios, gargalos e ineficiências, permitindo uma análise detalhada e objetiva.

No MFV-hídrico os símbolos utilizados no modelo tradicional foram substituídos por um conjunto de símbolos que representem o fluxo hídrico dentro do processo produtivo. Esses símbolos representam diferentes elementos do processo produtivo, desde a entrada até a saída da água do sistema. A Figura 20 demonstra alguns dos símbolos utilizados.

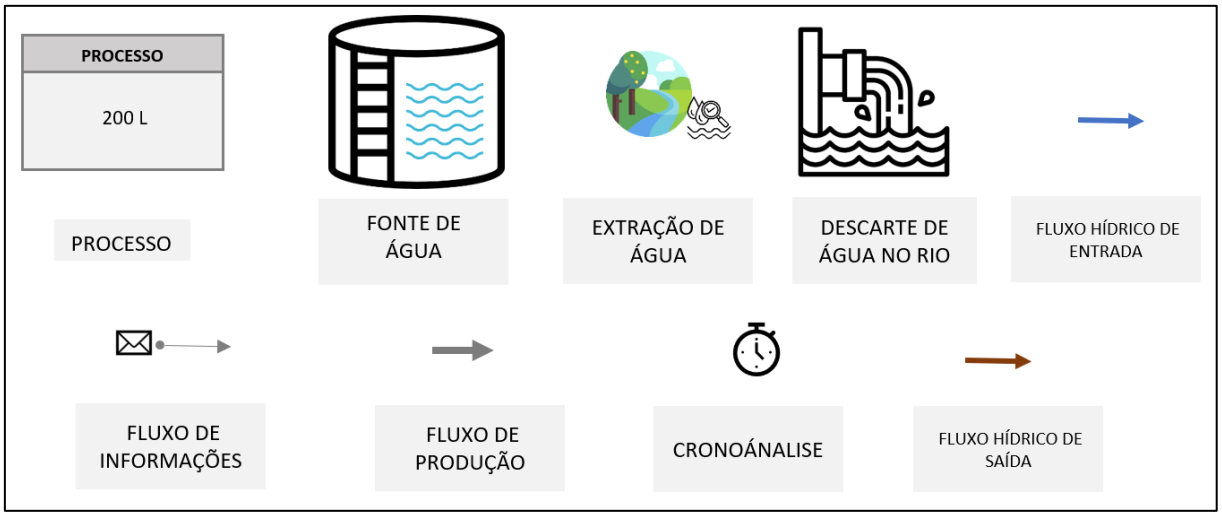


Figura 20: Simbologia para o fluxo da água no MFV
Fonte: autoria própria

Os símbolos definidos na Figura 20 representam:

a. Processo: Representa qualquer etapa em que há consumo de água. O processo é simbolizado por um retângulo, indicando as operações em que ocorre o uso de água.
b. Fonte de Água: Simboliza a caixa d'água onde o recurso hídrico é armazenado, aguardando autorização para o início do processo.
c. Extração de Água: Representa a fonte natural de onde a água é retirada, bem como o ponto onde é realizada a análise de sua qualidade.
d. Descarte de Água: Simboliza a saída da água do processo e seu retorno à natureza, geralmente representado por um descarte no rio.
e. Fluxo de Informação: Representado por um envelope com uma seta, indicando a transmissão de informações entre os diferentes processos.
f. Cronoanálise: Representada por um relógio, simboliza a análise de tempo realizada em cada etapa do processo.
g. Fluxo de Água Limpa: Representado por uma seta azul, indica o fluxo da água limpa dentro do processo.
h. Fluxo de Saída de Água: Representado por uma seta marrom, indica o fluxo de saída da água utilizada no processo.
i. Fluxo de Produção: Representado por uma seta cinza, simboliza o fluxo do processo produtivo em si.

A simbologia no MFV-hídrico tem o objetivo de proporcionar uma visualização clara e padronizada de todo o fluxo de produção, desde a extração da água até o descarte da mesma. Utilizando símbolos específicos para representar o consumo, armazenamento, extração, tratamento e descarte de água, além de fluxos e perdas, é possível obter uma visão abrangente e detalhada do uso da água ao longo do processo produtivo.

Essa abordagem facilita a identificação de desperdícios, a análise da eficiência dos processos e a implementação de melhorias sustentáveis, contribuindo para uma gestão mais consciente e eficaz dos recursos hídricos, essencial para a sustentabilidade e eficiência operacional.

5 MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia, segundo Alves (2013), tem o objetivo de conduzir a pesquisa e orientar para o processo de investigação, hipóteses e técnicas, de modo que possa avaliar as capacidades, limitações e distorções apresentadas. Já Fachin (2017) explica o método de pesquisa como sendo uma escolha de procedimentos sistemáticos para descrição e explicação de um estudo.

5.1 Taxonomia de pesquisa

Todo trabalho científico deve ser embasado em procedimentos metodológicos (Fachin, 2017) e, deste modo, este capítulo tem como intuito identificar este estudo quanto: à natureza, a abordagem, os objetivos e o método de pesquisa empregado. A Figura 21 mostra o esquema de classificação desta pesquisa

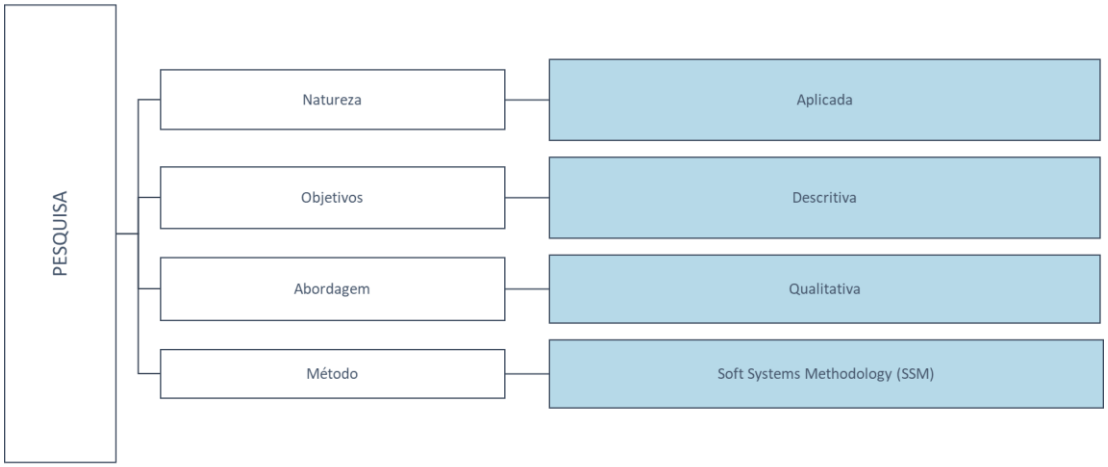


Figura 21: Esquema de classificação da pesquisa científica
Adaptado de: Cauchick-Miguel (2018)

Seguindo a classificação apresentada na Figura 21, esta pesquisa é aplicada, que, de acordo com Cauchick-Miguel (2018), gera conhecimento para aplicação prática e orientada para a solução de problemas específicos. Quanto aos objetivos, pertence ao âmbito descritivo e, segundo Gil (2008), este tipo de estudo tem o objetivo primordial de descrever as características de uma população, fenômeno ou estabelecer relações de variáveis.

Do ponto de vista da abordagem, define-se como uma pesquisa qualitativa cujas principais características são: delinear o contexto do ambiente de pesquisa, múltiplas fontes de evidências, ênfase na interpretação subjetiva dos indivíduos,

abordagem não estruturada, concepção da realidade organizacional e proximidade com o fenômeno estudado (BRYMAN, 1989). Nas palavras de Van Maanen (1979) a pesquisa qualitativa usa de várias técnicas de interpretação para descrever, decodificar e traduzir o que está ocorrendo no campo de estudo, e não a frequência que um determinado fenômeno ocorre. Como método empregado na pesquisa tem-se a aplicação da Metodologia de Sistemas Soft (MSS), cuja finalidade é conduzir para compreensão de um problema complexo não estruturado e sugerir transformações guiado pela prática (Bellini, Rech, Borenstein, 2004).

5.2 Metodologia de Sistemas Soft (MSS)

A MSS foi desenvolvida para articulação de problemas complexos e pouco estruturados através de uma abordagem sistêmica (Lunardi, Henrique, 2002). Checkland (1981), explica que a abordagem da MSS não busca encontrar a “solução correta”, mas sim explorar o problema de várias perspectivas.

A MSS, em contraste com as abordagens "*hard*", reconhece que muitos problemas têm natureza "*soft*", sendo intrinsecamente subjetivos, ambíguos e definidos de diferentes maneiras por diferentes *stakeholder*s. Os sistemas *soft* são caracterizados por sua subjetividade, ambiguidade e natureza social, envolvendo aspectos humanos, comportamentais e sociais que não podem ser facilmente quantificados. Em um contexto organizacional, os sistemas *soft* compreendem a cultura organizacional, equipe, comunicação, valores e crenças.

Em outras palavras, a MSS transporta a complexidade inerente ao mundo real para o âmbito da pesquisa, permitindo a inclusão de diversas perspectivas e os participantes envolvidos. Checkland (1981) propõe uma estrutura composta por sete etapas para a aplicação deste método, destacando sua capacidade de apoiar a aprendizagem e a revisão de hipóteses (Figura 22): (1) investigar uma situação problemática não estruturada, (2) descrevê-la, (3) desenvolver definições concisas dos sistemas relevantes, (4) criar modelos conceituais desses sistemas, (5) comparar os modelos com a situação problemática descrita, (6) identificar mudanças culturalmente viáveis e sistemicamente desejáveis, e (7) propor ações para transformar a situação problemática.

A MSS é uma metodologia orientada para o processo que utiliza modelos conceituais e envolve um ciclo contínuo de aprendizado e adaptação, isto é, não se

trata sobre encontrar a "solução correta" para o problema, mas sim sobre explorar e compreender o problema de várias perspectivas e trabalhar em direção a uma solução que seja viável para todos os envolvidos.

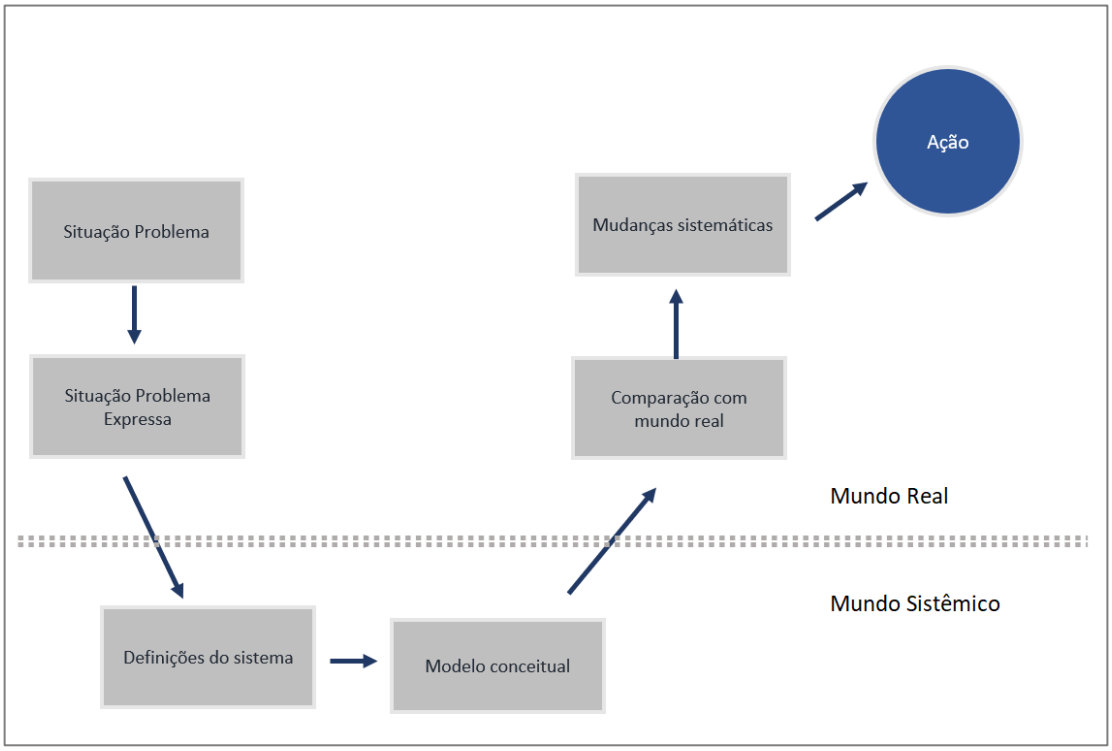


Figura 22: Estágios da Metodologia de Sistemas Soft
Adaptado de: Checkland (1981)

Em vista disso, este documento tensiona elaborar uma pesquisa utilizando o método MSS, de acordo com a estrutura proposta por Checkland (1981), em uma indústria do ramo alimentício mediante a elaboração de um mapeamento de fluxo de valor. No entanto, seguindo a proposta desta dissertação, o MFV será utilizado para identificação do consumo de água dentro da planta organizacional e, desta forma, o item MAPEAMENTO DO FLUXO HÍDRICO tratará da conversão do modelo de mapeamento tradicional da filosofia *lean* para o modelo de mapeamento que considera o fluxo da água. Em seguida, será detalhado como cada fase do MFV-Hídrico integra a MSS.

5.3 Integração das etapas da MSS e do MFV-hídrico

O desenho do mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta poderosa para analisar e otimizar os processos de produção, identificando áreas de desperdício e oportunidades de melhoria. Por outro lado, a MSS é uma abordagem que visa

entender e resolver problemas complexos e multifacetados, considerando a perspectiva humana e social envolvida nos processos.

Ao integrar o MFV com a MSS, este estudo pretende obter uma visão mais completa e abrangente dos processos, levando em consideração não apenas os aspectos técnicos e operacionais, mas também os aspectos sociais, culturais e comportamentais que podem influenciar o desempenho e a eficácia das atividades.

A associação entre metodologia e a ferramenta proporcionará uma abordagem sistemática e orientada para a solução por meio da combinação dos aspectos qualitativos do MSS com a análise visual e orientada para dados do MFV-hídrico. O Quadro 4, a seguir, demonstra a integração entre o método e a ferramenta.

Quadro 4: Integração da MSS e com MFV-hídrico

Etapa MSS	Descrição
(1) Reconhecimento da Situação Problemática	Identificar e reconhecer a existência de problemas ou desafios no processo produtivo, identificando a situação problema e a oportunidade de melhoria.
(2) Expressão do Problema	A elaboração do mapa do estado atual deve expressar visualmente os problemas identificados e os desperdícios no fluxo de valor atual.
(3) Análise Comparativa de Percepções	As percepções das partes interessadas sobre o problema são analisadas e comparadas, integrando com a análise das fontes de desperdício no MFV-hídrico.
(4) Raízes dos Problemas	As raízes dos problemas ou desafios identificados, buscando as causas subjacentes dos desperdícios e problemas no processo
(5) Conceituação de Soluções	Nesta fase, são desenvolvidas soluções conceituais para abordar os problemas identificados através do mapa do estado futuro (fluxo de valor ideal).
(6) Implementação de Mudanças	Implemente as soluções conceituais desenvolvidas na etapa anterior. Integre isso com um plano detalhado para implementar as mudanças necessárias para alcançar o estado futuro desejado
(7) Aprendizado e Adaptação	Por meio da revisão contínua no MFV-hídrico, acompanhar o desempenho do processo e faz ajustes conforme necessário para manter o estado futuro desejado

Fonte: autoria própria

Em resumo, ao empregar a associação da MSS com o MFV-hídrico, este estudo busca uma perspectiva que combina a compressão das operações com uma visão mais ampla das questões organizacionais e sociais que afetam o desempenho do sistema, de modo a promover ambientes mais sustentáveis.

5.4 Descrição do objeto de estudo

Esta pesquisa se concentra em uma indústria do setor alimentício situada na região sul de Minas Gerais. A empresa possui uma ampla diversidade de produtos à base de batata, abrangendo de “batata palha” a “batata chips”. A empresa prioriza o crescimento sustentável, buscando atender às necessidades de seus clientes e funcionários, ao mesmo tempo em que mantém um compromisso com a preservação do meio ambiente.

Dentro desse contexto produtivo, a água emerge como um recurso essencial e desempenha um papel crucial em diversas etapas do processo de fabricação, sendo utilizada para limpeza de equipamentos e lavagem de matérias-primas. Portanto, sua presença é indispensável para garantir a qualidade, segurança e conformidade dos produtos fabricados.

A Figura 23 ilustra o fluxograma das diferentes etapas e atividades envolvidas na transformação da batata em “batata-palha”, um dos produtos principais da empresa. O fluxograma começa com a etapa inicial de recebimento das batatas, onde são inspecionadas quanto à qualidade e armazenadas temporariamente até o início do processamento. A partir daí, o fluxo segue para as etapas de preparação, onde as batatas são lavadas, descascadas e cortadas.

Em seguida, o processo avança para a etapa de fritura, na qual as fatias de batata são submetidas a altas temperaturas em óleo vegetal, resultando na característica crocância da batata palha. Após a fritura, o excesso de óleo é drenado e batatas resfriadas são embaladas.

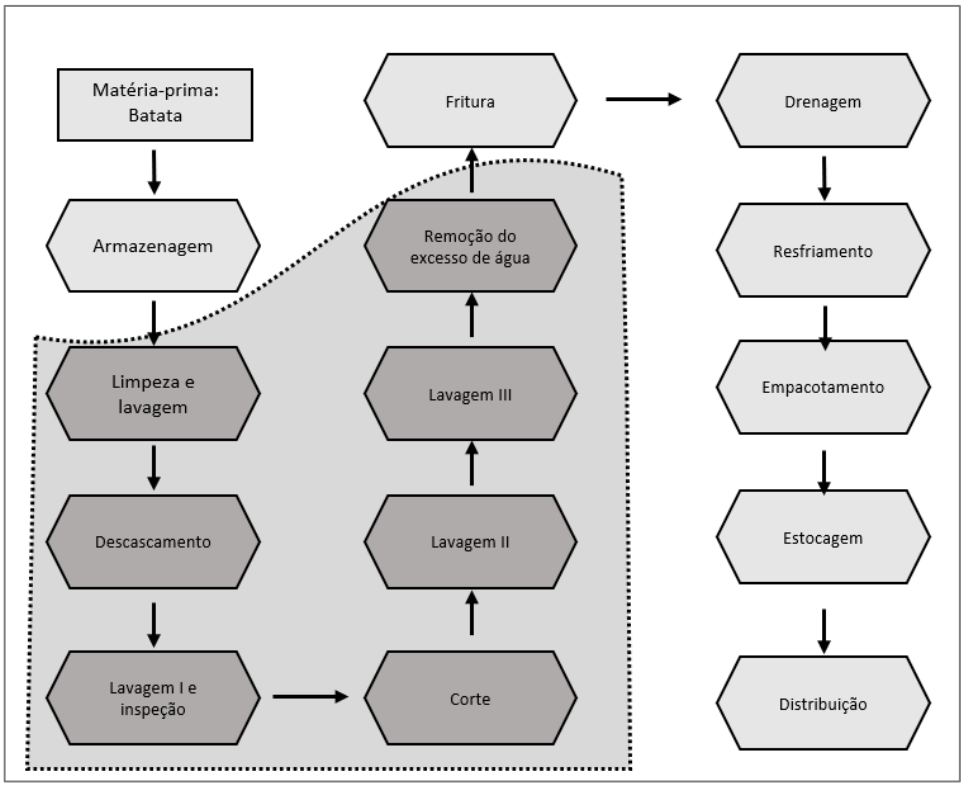


Figura 23: Fluxograma de processamento da batata palha.
Fonte: autoria própria.

O fluxo de produção da ‘batata-palha” utiliza-se de grades quantidades de água e, consequentemente, gera grandes quantidades de efluente. A Figura 24 representa uma visão detalhada do processo de lavagem, fatiamento e remoção do excesso de água, proporcionando uma visão detalhada de todas as etapas do processo utilizando água como parte do processo e a geração de efluentes, rico em amido.

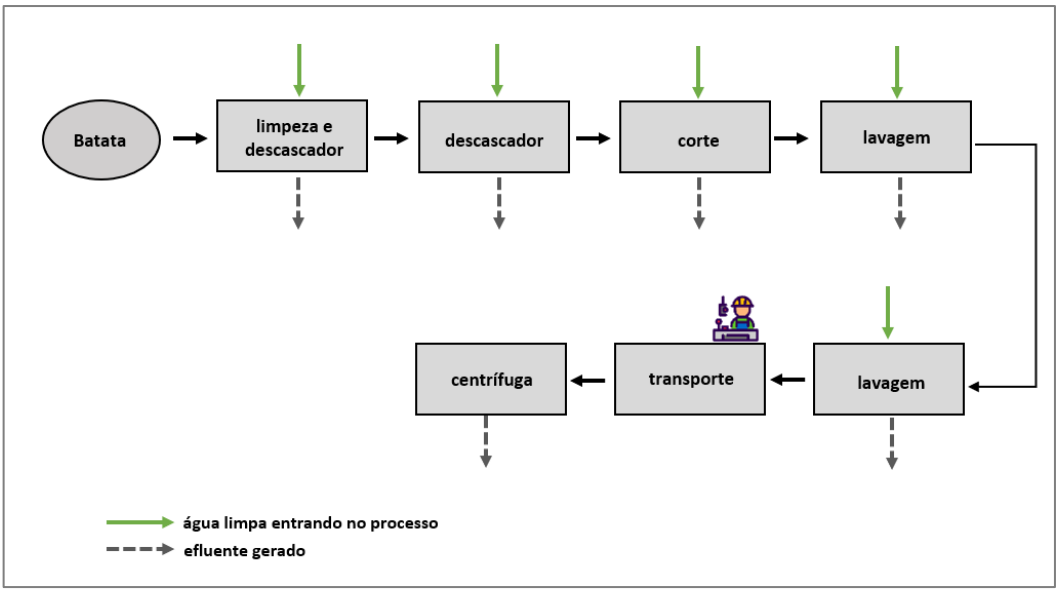


Figura 24: Processamento de bata-palha com as entradas e saída de água.
Fonte: autoria própria.

A análise do processo da Figura 24 proporcionará a identificação de oportunidades de melhoria, visando aumentar a eficiência, reduzir desperdícios e garantir a qualidade do produto final, promovendo a excelência operacional e permitindo a identificação de pontos críticos no fluxo de produção, que poderão ser otimizados para melhor atender às necessidades e expectativas dos clientes.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Checkland (1981) explica que a “Figura Rica” é representação visual que captura os principais elementos, relacionamentos e dinâmicas da situação problemática em questão. Ele permite aos participantes do processo de MSS entenderem a complexidade do contexto de maneira mais holística, explorando todos os aspectos técnicos e sociais.

Ante ao exposto, a partir da visita à produção na fábrica de batata palha e da observação minuciosa do processo, foi elaborada uma representação detalhada do fluxo de produção em análise. A Figura 25 oferece uma visão abrangente e detalhada das etapas e atividades envolvidas na fabricação do produto, permitindo uma compreensão mais aprofundada do processo e identificação de áreas de melhoria potenciais.

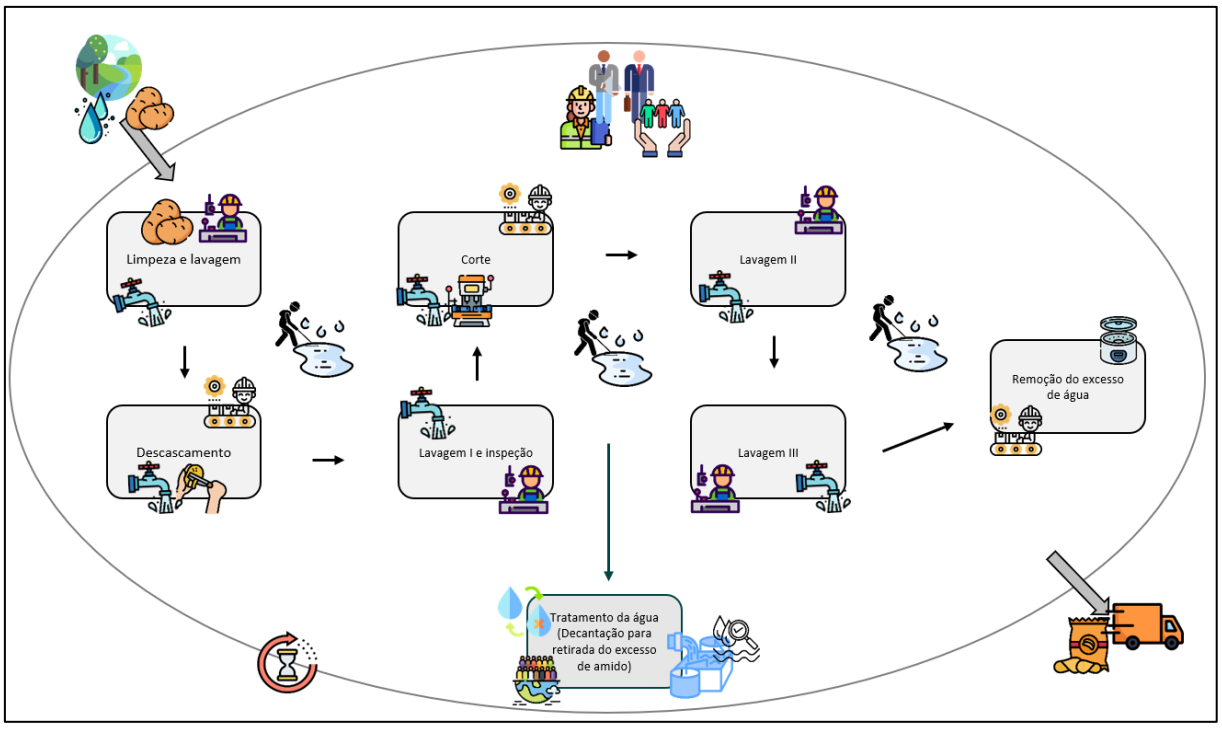


Figura 25: Figura rica do processo de produção de batata-palha.
Fonte: autoria própria.

Na Figura 25 identifica-se os processos e atividades que compõem a situação problemática, juntamente com os atores participantes, recursos disponíveis e restrições que influenciam a dinâmica. Além disso, é perceptível o impacto do ambiente externo, incluindo fatores sociais e ambientais, na configuração e evolução da situação em questão. Este contexto proporciona uma compreensão abrangente, permitindo uma análise mais precisa e a identificação de áreas potenciais para intervenção e melhoria.

6.1 Etapas da MSS integrada ao Mapeamento do Fluxo de Valor

- **Etapa I: Reconhecimento da Situação Problemática**

A água emerge como um elemento crucial para o avanço sustentável, sendo que as alterações no ciclo hidrológico, combinadas com o crescimento exponencial da demanda em diversos setores socioeconômicos, amplificam os desafios associados à gestão responsável dos recursos hídricos (UNESCO, 2020)

No processo de beneficiamento da batata palha, a água assume uma importância estratégica no processo, segundo a Farias, *et.al*. (2020) a produção de batatas *chips* utiliza cerca de 1040 litros de água por quilo, tornando-se imprescindível que sua utilização seja monitorada, gerenciada e otimizada. Essa abordagem não apenas visa garantir a eficiência operacional da fábrica, mas também promover práticas sustentáveis de gestão de recursos naturais.

Entretanto, durante a análise do processo produtivo, evidenciou-se a ausência de controle e medição das entradas de água em cada etapa. Não há um monitoramento do volume de água utilizado em diferentes pontos do processo, o que dificulta a identificação de oportunidades para otimização e redução do consumo.

Além disso, durante a visita ao *gemba*, observou-se que o descarte da água utilizada nos processos não é realizado por meio de canaletas de drenagem apropriadas. Em vez disso, a água fica acumulada no chão ao longo do processo produtivo, representando não apenas um risco para a segurança dos trabalhadores, mas também a má utilização dos processos. Ao final de cada turno de trabalho, os funcionários precisam realizar o processo de limpeza do chão e drenagem da água acumulada, o que demanda tempo e esforço adicionais.

Outro aspecto importante é que, no processo de beneficiamento, a água utilizada é descartada diretamente no rio após a separação do amido através do processo de decantação. Esse procedimento pode levantar preocupações ambientais, uma vez que a liberação de água residual no meio ambiente sem tratamento adequado pode afetar a qualidade da água e os ecossistemas aquáticos.

- **Etapa II: Expressão do problema**

O mapeamento do uso da água neste sistema produtivo visa compreender em detalhes como a água é utilizada em cada etapa do processo. Aplicar abordagem do

sus-MFV, busca-se identificar os pontos de consumo de água ao longo do processo produtivo e as oportunidades de reutilização e reciclagem desse recurso.

Para o mapeamento do estado atual, foram levantados no chão de fábrica os seguintes dados:

1. Vazão para cada um dos processos
2. Tempo de funcionamento da fábrica

De posse destes dados foram calculados quantos litros de água cada processo consome por dia e estes dados são apresentados no mapa do estado atual da fabricação de batatas palha, Figura 26.

Na Figura 26, observa-se a ausência de medidores de vazão na entrada do processo, apesar de haver um controle semanal da quantidade de água utilizada em toda a fábrica. Além disso, a água que sai do processo acumula-se no chão, e, em caso de excesso, os funcionários a empurram para a canaleta de escoamento e ao fim de cada turno de trabalho é realizado o processo de lavagem do chão pelos funcionários da fábrica. Nota-se também que todo efluente é direcionado para um tanque de decantação, onde há uma separação do excesso de amido presente na água. Após a decantação, a água é descartada sem passar por tratamento ou controle de qualidade.

- **Etapa III: Análise Comparativa de Percepções**

No mapa do estado atual, é evidente que o consumo de água na fábrica durante um período de 8 horas de operação é significativo, totalizando aproximadamente 12.800 litros. A análise revela que a água é empregada em duas áreas principais: nas diversas lavagens da matéria-prima e na limpeza do chão da fábrica, realizada ao fim de cada turno de produção.

Essas atividades são essenciais para garantir a qualidade dos produtos fabricados, bem como manter os padrões adequados de higiene e segurança dentro das instalações industriais. Ao compreender como a água é utilizada em cada etapa do processo, este estudo poderá propor medidas para conservação e uso sustentável desse recurso natural.

Outro ponto de destaque, antes do descarte de água é necessário de compreender os índices de potabilidade para determinar os métodos adequados de descarte da água residual. É essencial realizar o tratamento da água residual através

de novas tecnologias de tratamento e periodicamente realizar análise da qualidade da água, avaliando parâmetros como pH, turbidez, sólidos suspensos, presença de contaminantes orgânicos e inorgânicos, entre outros. Essas análises fornecem informações cruciais sobre a qualidade da água residual.

Além disso, a empresa pode explorar opções para reutilização da água tratada em outras atividades dentro do processo produtivo ou em operações secundárias, como irrigação de áreas verdes ou limpeza de equipamentos. A reutilização da água não apenas reduz o consumo de água potável, mas também minimiza a quantidade de água residual a ser descartada, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

- **Etapa IV: Raízes dos Problemas**

A Tabela 2 apresenta os dados coletados na fábrica. Os dados foram coletados por meio de amostragem, utilizando um cronômetro e medições de volume para calcular a quantidade de água utilizada em um dia. Com base nessas informações, é possível identificar os padrões e áreas de melhoria, orientando decisões estratégicas para otimizar a eficiência e a produtividade da fábrica.

Tabela 2: Dados de consumo de água e tempo de produção coletados.

Processo	Litros de água (l)	Tempo de produção (h)
Descascador	3.302,4	8
Lavagem I	1.654,4	8
Corte	2.976,3	8
Lavagem II	1.304,4	8
Lavagem III	2.222,7	8
Lavagem do chão da fábrica	1.312,5	8
Total/ dia	12.772,7	8

Fonte: autoria própria.

Durante a visita à fábrica, foram identificados diversos aspectos relevantes relacionados ao uso da água no processo produtivo. Um dos pontos observados foi a ausência de um medidor de vazão por processo, o que dificulta o monitoramento preciso do volume de água utilizado em cada etapa. Essa lacuna pode resultar em desperdício e dificulta a identificação de oportunidades para otimização do consumo de água.

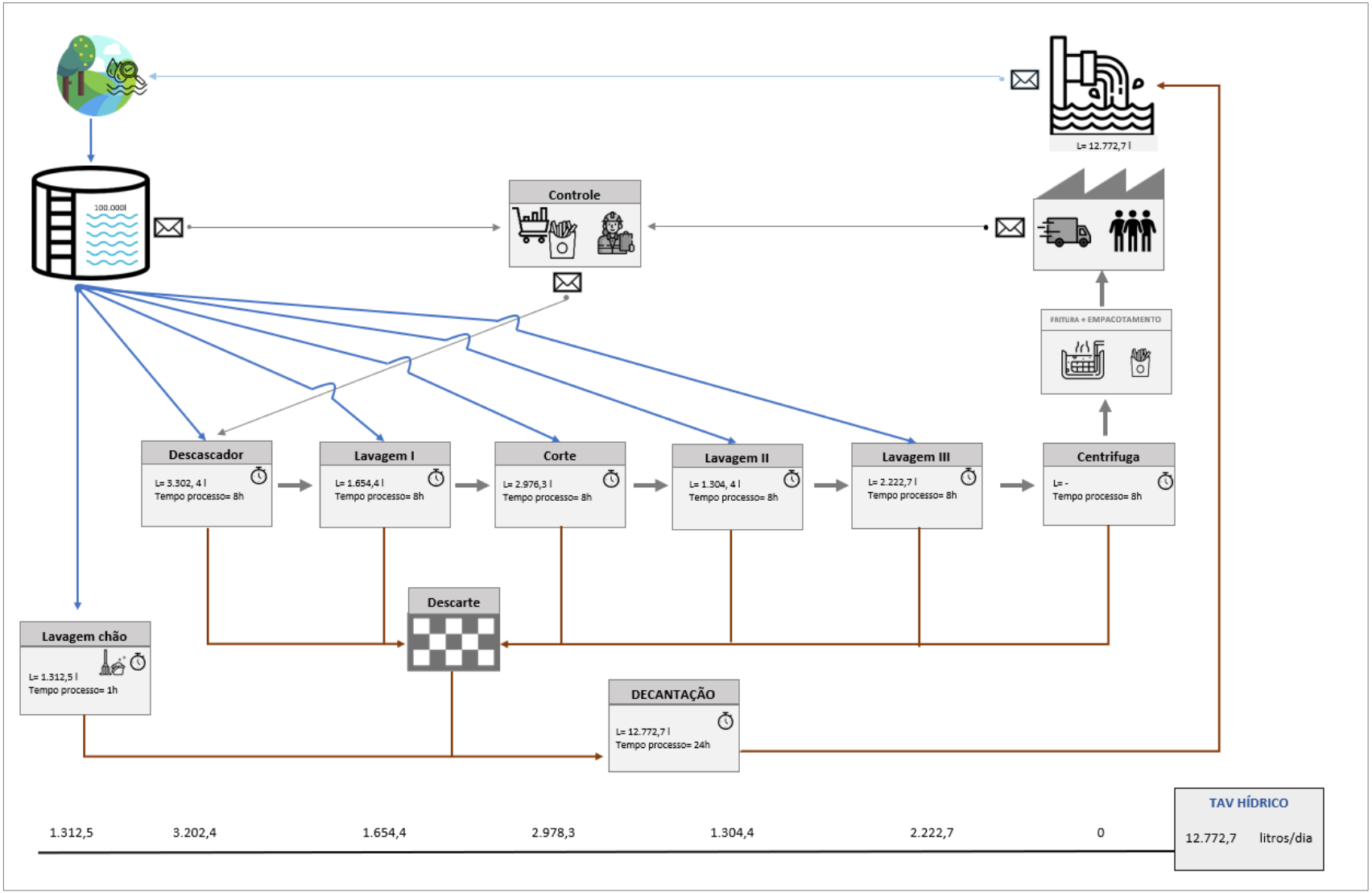


Figura 26: Mapa do Estado Atual para a produção da batata palha.
Fonte: autoria própria.

Além disso, notou-se que, ao longo do processo produtivo escorre para o chão, onde ocorre a movimentação dos funcionários. Essa prática não apenas contribui para o desperdício de água, mas também pode representar um risco de segurança no ambiente de trabalho.

- **Etapa V: Conceituação de Soluções**

O mapa do estado atual (Figura 26) mostra que o processo carece de controle efetivo sobre a entrada de água. A inexistência de quantificação adequada da água utilizada em cada processo não permite uma análise precisa e, consequentemente, a implementação de medidas eficazes de conservação.

Portanto, incluir no sistema produtivo de controle efetivo para regular a entrada de água no processo, de modo a quantificar e monitorar seu uso. Além disso, é fundamental adotar práticas de gestão eficientes para garantir que a água seja utilizada de forma consciente e responsável, minimizando o desperdício.

Ao observar diretamente o local de trabalho (*gemba*), torna-se evidente que a água acumulada no chão não apenas compromete a segurança dos colaboradores, aumentando o risco de acidentes, mas também aumenta o consumo de água para a limpeza ao final de cada turno de trabalho. Desta forma, é imprescindível adotar medidas para evitar o acúmulo de água no chão, o que pode ser alcançado através da implementação de drenos e sistemas de escoamento eficazes.

Outro aspecto relevante é o processo de descarte e decantação da água, que resulta na produção de um subproduto: o amido. Pesquisas têm demonstrado que esse resíduo pode ser reaproveitado de diversas maneiras. Por exemplo, o estudo de Romeira (2019) utilizou o amido residual da industrialização de batata-frita para desenvolver bioplástico. Já no estudo de Duarte *et.al* (2018), o amido de batata se mostrou promissor quando utilizado como agente de floculação no tratamento de água. Outro exemplo de utilização do amido é para alimentação animal, como citam Pires e Mattiazzo (2005).

Além disso, a água decantada e filtrada proveniente do processo industrial pode passar por tratamento para diminuição das impurezas e adequação do grau de potabilidade. Isso significa que, ao invés de ser descartada de forma indiscriminada, essa água pode ser tratada para atender padrões de qualidade específicos e ser

reintegrada ao ciclo produtivo, reduzindo a demanda por água fresca e minimizando o impacto ambiental.

- **Etapa VI: Implementação de Mudanças**

O mapa do estado futuro é uma ferramenta valiosa para orientar as ações da empresa em direção à conservação e uso sustentável da água. Ao integrar as informações detalhadas sobre o uso da água em cada etapa do processo ao mapa do estado futuro, a empresa pode identificar áreas específicas de oportunidade para melhorias e inovações.

A Figura 28 representa o mapa estado futuro do processo e as mudanças propostas para a fábrica, destacando os pontos de desperdício ou ineficiência no uso da água, processos que consomem grandes volumes de água e oportunidades para descarte da água e utilização do amido da água em outros processos.

Para a elaboração do MFV-Hídrico no estado futuro, foram incorporados novos símbolos à simbologia desenvolvida, conforme ilustrado na Figura 27. Esses acréscimos representam melhorias significativas ao processo, refletindo de maneira mais precisa os elementos envolvidos em cada etapa produtiva, desde a captação da água até sua destinação final.

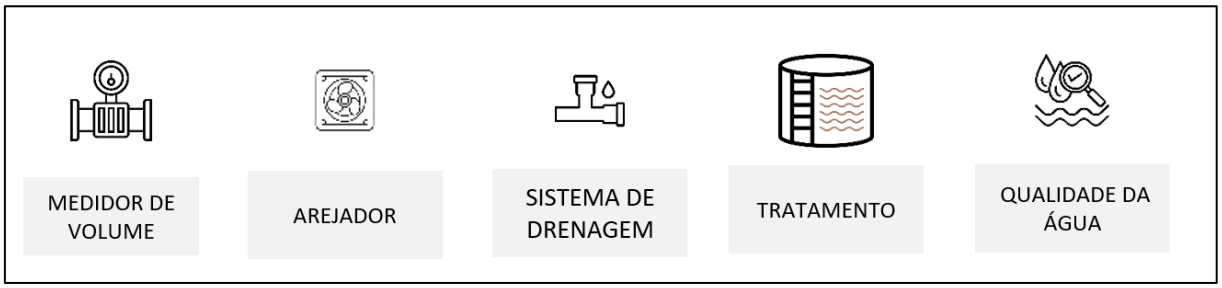


Figura 27: Simbologia adicionada ao MFV-hídrico no estado futuro.
Fonte: autoria própria.

Assim, para adoção de um sistema mais eficiente, recomenda-se instalação de medidores de vazão em cada etapa do processo, de modo a permitir a utilização apenas da quantidade necessária de água para cada ciclo, garantindo eficiência e precisão no consumo de recursos. Isto é, o desenvolvimento de um sistema de monitoramento contínuo do consumo de água em tempo real, permitirá uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos, possibilitando a identificação imediata de quaisquer anomalias ou desperdícios e facilitando a tomada de decisões rápidas para corrigi-los.

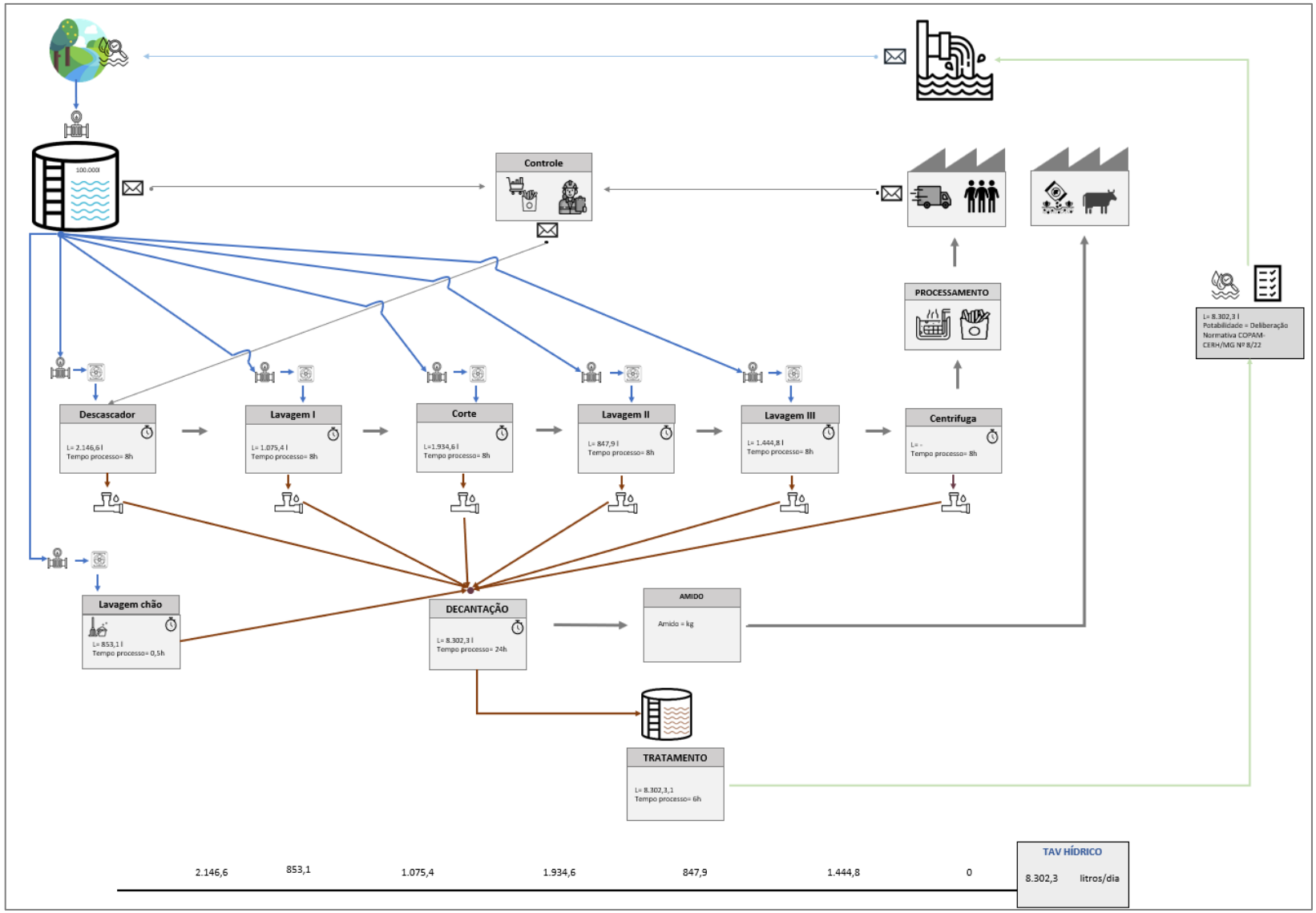


Figura 28: Mapa do Estado Futuro para a produção da batata palha.
Fonte: autoria própria.

Esse sistema de monitoramento da quantidade de água utilizada no processo também desempenha um papel fundamental no cumprimento da outorga para utilização dos recursos hídricos, conforme estabelecido pela Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997). A outorga, enquanto instrumento jurídico que disciplina o direito de utilização da água, impõe um controle sobre os volumes captados e empregados, assegurando que o consumo hídrico esteja em plena consonância com os limites estabelecidos pelas autoridades competentes. Deste modo, o monitoramento contínuo contribui de forma decisiva para a gestão sustentável dos recursos hídricos, além de garantir a observância das diretrizes ambientais e legais instituídas pela legislação vigente.

Outra iniciativa para reduzir o consumo de água é a instalação de arejadores nas entradas de água do sistema. Esses dispositivos funcionam ao misturar ar com a água, proporcionando um fluxo suave e contínuo que reduz o volume de água utilizado, sem comprometer a eficiência do fluxo. Com isso, é possível alcançar uma redução de 30% a 50% no consumo de água.

A Tabela 3 mostra a redução do consumo de água no processo produtivo a partir da adoção de arejadores nas etapas do sistema. Para este estudo adotou-se a premissa que será implantado um arejador com eficiência de 35% na redução de volume.

Tabela 3: Comparação de redução de volume de água em relação à eficiência dos arejadores

Processo	Estado Atual	Estado futuro (eficiência do arejador)				
		30%	35%	40%	45%	50%
Descascador	3.302,4	2311,7	2146,6	1981,4	1816,3	1651,2
Lavagem I	1.654,4	1158,1	1075,4	992,6	909,9	827,2
Corte	2.976,3	2083,4	1934,6	1785,8	1637,0	1488,2
Lavagem II	1.304,4	913,1	847,9	782,6	717,4	652,2
Lavagem III	2.222,7	1555,9	1444,8	1333,6	1222,5	1111,4
Lavagem do chão da fábrica	1.312,5	918,8	853,1	787,5	721,9	656,3
Total/ dia	**12.772,7**	**8.940,89**	**8.302,26**	**7.663,62**	**7.024,99**	**6.386,35**

Fonte: autoria própria.

Como parte da melhoria contínua do processo produtivo, a instalação de um sistema de drenagem para evitar o acúmulo de água no chão da linha de processamento. Essa medida não apenas garantirá um ambiente de trabalho mais

seguro e livre de acúmulo de água, mas também contribuirá para a manutenção da limpeza e organização no local de produção.

No que se refere ao descarte da água, duas medidas podem ser implementadas com base no processo de decantação. Primeiramente, o amido gerado como subproduto pode ser aproveitado para diversos fins, como visto em estudos recentes que demonstram sua aplicabilidade na produção de bioplásticos. Esse aproveitamento não apenas reduziria o desperdício, mas também agregaria valor ao processo produtivo, contribuindo para a economia circular e a sustentabilidade ambiental.

Além disso, outra medida viável é o tratamento prévio da água antes do descarte. A implementação de um sistema de tratamento adequado poderia remover impurezas e contaminantes presentes na água, garantindo que ela possa ser reintegrada ao ciclo produtivo ou, caso seja descartada, atenda aos padrões ambientais estabelecidos.

Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG, de 21 de novembro de 2022, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece as condições e padrões para o lançamento de efluentes. Esta deliberação determina que o efluente gerado por qualquer fonte poluidora deve obedecer aos padrões previstos no Artigo 32º, incluindo parâmetros como pH, temperatura, DBO, DQO, material sedimentável, entre outros.

A Agência Nacional de Águas estabelece que a potabilidade da água deve ser avaliada por meio do Índice de Qualidade das Águas (IQA). Esse índice foi desenvolvido para mensurar a qualidade da água bruta após o tratamento, e é composto por nove parâmetros: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, nitrogênio, fósforo, turbidez e resíduos. No estado de Minas Gerais, a água é considerada adequada para abastecimento e utilização industrial quando se encontra na faixa classificada como ótima ou boa. O Quadro 5 identifica as faixas de IQA.

Quadro 5: Classificação de índice de Qualidade da Água - IQA

Avaliação da Qualidade da Água	Faixas de IQA
Ótima	91 a 100
Boa	71 a 90
Razoável	51 a 70
Ruim	26 a 50
Péssima	0 a 25

Fonte: ANA, 2021a.

Desta forma, a água tratada sendo classifica na faixa ótima poderá ser reintegrada ao sistema para diversas finalidades, como retorno ao processo de beneficiamento da batata, o uso na cozinha, para lavagem da área de trabalho, entre outras. Esta medida reduz a necessidade de captação de água nova e minimizando o impacto ambiental da operação, refletindo o compromisso da empresa com a gestão responsável dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável.

- **Etapa VII: Aprendizagem e Adaptação**

A implementação do processo proposto no mapa do estado futuro trará uma nova perspectiva para o processo produtivo, permitindo à empresa adaptar-se e realizar melhorias contínuas. Essa abordagem não apenas promoverá a eficiência operacional, mas também criará uma base sólida para a inovação e o desenvolvimento sustentável.

Com o processo de maturidade, surgem novas oportunidades para o aproveitamento dos resíduos gerados. Esses resíduos podem ser vistos não apenas como subprodutos a serem descartados, mas como recursos potenciais que podem ser reutilizados ou reciclados de maneira criativa e sustentável.

A venda do amido proveniente do tratamento do efluente gerado no processo de beneficiamento da batata pode representar uma importante fonte de receita adicional e promover a sustentabilidade da operação. Esses subprodutos podem ser coletados, processados e vendidos para diferentes indústrias, como a indústria de ração animal, produção de biogás ou agricultura.

Ao adotar uma abordagem de economia circular, a empresa não apenas reduz o desperdício e os impactos ambientais, mas também cria novas fontes de receita e fortalece sua posição como uma organização social e ambientalmente responsável. Essa integração de práticas sustentáveis não só beneficia o meio ambiente, mas também agrega valor à empresa, seus produtos e sua reputação no mercado.

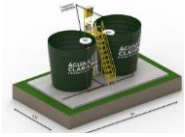
Adicionalmente, a empresa pode investir em programas de conscientização e treinamento para os funcionários, visando promover uma cultura organizacional voltada para a conservação dos recursos hídricos. Essas iniciativas podem englobar a educação sobre práticas de uso eficiente da água, a sensibilização para a importância da conservação dos recursos naturais e o estímulo à participação ativa dos colaboradores na identificação e implementação de medidas de sustentabilidade.

6.2 Custo de implementação do estado futuro

O custo de implementação do sistema de drenagem, dos medidores de vazão e dos arejadores na fábrica é apresentado na Tabela 4. Estes investimentos são necessários para otimizar o uso de recursos hídricos e melhorar a eficiência dos processos industriais. A tabela detalha os valores estimados para cada componente, permitindo uma análise precisa dos custos envolvidos na instalação desses sistemas.

Para implantar o sistema é considerado: seis arejadores, sete medidores de vazão, com maior precisão na aferição do consumo hídrico, um sistema de tratamento de efluentes possui uma capacidade de 20 m³/dia, garantindo o adequado processamento dos resíduos líquidos. Além disso, o sistema de drenagem, embora simples, é eficaz na remoção eficiente da água acumulada no piso da fábrica, assegurando um ambiente produtivo e seguro.

Tabela 4: Custo de Implementação

Componente		Quantidade	Custo/unitário	Custo Total
Arejador		6	R$ 60,00	R$ 360,00
Medidor de vazão		7	R$ 1.137,00	R$ 7.959,00
Estação de tratamento		1	R$ 45.949,26	R$ 45.949,26
Sistema de drenagem		100 m	R$ 14,00	R$ 1.400,00
Custo Total				**R$ 55.668,26**

Fonte: autoria própria.

O investimento inicial é estimado em aproximadamente cinquenta e seis mil reais (R$ 55.668,26) e a adoção dessas medidas é uma estratégia vantajosa tanto do ponto de vista financeiro quanto ambiental. No ponto de vista ambiental, um dos principais desafios enfrentados por empresas, especialmente em setores industriais, é o descarte inadequado de águas residuais e a não conformidade ambiental pode resultar em multas e sanções legais.

6.3 Infrações ambientais e descarte de resíduos industriais na água

No Brasil, a aplicação de multas por infrações ambientais, incluindo o descarte inadequado de água, é regulamentada pela Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998), que estabelece sanções penais e administrativas para condutas lesivas ao meio ambiente, complementada por normas de órgãos como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Essas penalidades têm como objetivo assegurar que atividades industriais, comerciais e de serviços não causem prejuízos ao meio ambiente, especialmente no que diz respeito à poluição de corpos hídricos.

A Lei de Crimes Ambientais é o principal marco regulatório para a punição de crimes ambientais no Brasil, prevendo, no artigo 54, penalidades para aqueles que causarem poluição capaz de gerar danos à saúde humana, à fauna, à flora, ou de tornar a água imprópria para o consumo, afetando inclusive a fauna aquática. Nesse contexto, o descarte inadequado de água contaminada, como aquela contendo amido, em rios, pode ser alvo de sanções, cujos valores variam conforme a extensão do impacto causado.

Em Minas Gerais, assim como em outros estados, as multas ambientais são regidas tanto por leis federais quanto estaduais, ajustando-se às particularidades regionais. O valor da multa pode oscilar de acordo com fatores como a quantidade de amido despejada, a gravidade do impacto ambiental, a reincidência do infrator e a legislação local. Fatores como a gravidade do dano à fauna, à flora e à saúde humana, a concentração de amido descartado e a classificação do corpo hídrico, especialmente se estiver em uma área de proteção ambiental, também influenciam o cálculo da multa.

A legislação mineira, por meio do Sistema Estadual de Meio Ambiente (SISEMA) e da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), regula a fiscalização e

as sanções administrativas e uma multa por descarte de água contendo amido em rios pode variar de forma significativa, geralmente situando-se entre R$ 5.000,00 e R$ 50.000,00, dependendo da avaliação do órgão ambiental responsável.

No Brasil, as multas ambientais são aplicadas com rigor, refletindo o compromisso do país em proteger seus recursos hídricos e o meio ambiente de maneira ampla. Empresas que não adotam práticas adequadas de gestão de efluentes podem enfrentar sanções severas, incluindo multas milionárias, suspensão de licenças ambientais e prejuízos à sua reputação. Nesse sentido, a adoção de normas como a ISO 14000 e o cumprimento da legislação vigente são fundamentais para mitigar riscos legais e financeiros, além de promover a sustentabilidade ambiental.

A ISO 14000 orienta as organizações a implementar práticas de tratamento adequado da água utilizada em seus processos produtivos, como a análise de efluentes e o uso de tecnologias de tratamento, garantindo conformidade com as exigências ambientais. O descumprimento dessas normas pode resultar em graves consequências, como multas e sanções legais. Assim, a adoção de um Sistema de Gestão Ambiental baseado na ISO 14000 não apenas garante conformidade com a legislação, mas também previne custos significativos decorrentes de infrações ambientais.

Por fim, para uma empresa de beneficiamento de batata, a implantação de um sistema de tratamento de água antes do descarte é fundamental, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. O processo produtivo gera águas residuais ricas em amido, que, se descartadas de forma inadequada, podem causar impactos ambientais significativos, resultando em multas severas e prejuízos à imagem da empresa. A adoção de tecnologias adequadas para o tratamento de efluentes assegura que a água seja devidamente purificada antes de seu retorno ao meio ambiente, em conformidade com as normas da ISO 14000 e a legislação ambiental vigente. Além de evitar penalidades, essa prática reflete o compromisso da empresa com a sustentabilidade, promovendo o uso responsável dos recursos hídricos e garantindo sua viabilidade operacional a longo prazo.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo serão descritos os aspectos conclusivos deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

7.1 CONCLUSÕES

Este documento teve como objetivo geral entender e investigar como a manufatura enxuta, a sustentabilidade e a gestão de recursos hídricos podem ser integradas dentro do contexto industrial, como a primazia para a redução de desperdícios relacionados a água.

Inicialmente, a partir da revisão sistemática da literatura pode-se compreender o que estava sendo produzido pela comunidade cientifica. A revisão sistemática do estado da arte tinha como premissa responder à questão: “O que já foi proposto em relação a aplicação do uso combinado da Manufatura Enxuta e o uso eficiente da água?”. Deste modo, a revisão compreendeu em análises de distribuição temporal e territorial, além da identificação da tipologia industrial dos estudos e das ferramentas enxutas empregadas na integração do *lean* e da sustentabilidade. Com os resultados obtidos na análise bibliométrica, foi possível responder à pergunta inicial e compreender as principais tendências de pesquisa, bem como as lacunas de aplicação de estudo. A principal lacuna, identificada com a revisão de literatura, demonstrou que a filosofia enxuta é uma abordagem crítica para o desenvolvimento sustentável, mas subutilizada para indicadores hídricos, deixando uma brecha no conhecimento para o uso racional da água na indústria dentro do contexto *lean*.

Paralelamente, com os resultados iniciais da revisão sistemática pôde-se definir o método de pesquisa a ser empregado e a ferramenta enxuta a ser aplicada para melhorar o desempenho hídrico. Assim, a metodologia de sistemas soft foi adotada como método de pesquisa, pois permite compreender e aprimorar aspectos de um sistema operacional com base nos aspectos qualitativos. Checkland (1981) explica que está metodologia abarca todos os atores envolvidos em questões complexas e que não apresentam soluções únicas.

Como ferramenta enxuta, aderiu-se pelo mapeamento de fluxo de valor, ferramenta na qual permite a identificação do fluxo de produção e, consequentemente, reconhecimento de processos e detecção de desperdícios. Para tal, a versão sustentável da ferramenta foi utilizada para identificar o fluxo hídrico dentro de uma planta industrial do setor alimentício, ajustando os dados coletados para o

mapeamento tradicional para os dados relevantes para mensurar o mapa de água. Para a análise metodológica, integrou-se as fases da MSS às fases utilizadas para o sus-MFV na perspectiva hídrica.

Deste modo, foi empregado o estudo a partir da análise do fluxo produtivo de uma indústria alimentícia especializada na produção de batata palha. Esta escolha permitiu uma compreensão detalhada dos processos envolvidos na fabricação do produto e que utilizavam água como parte do processo. Ao mapear o fluxo de valor específico dessa cadeia produtiva, pode-se identificar não apenas os pontos de desperdício de água, mas também oportunidades de melhorias que podem contribuir para a redução do consumo hídrico e a otimização dos recursos disponíveis. Essa abordagem direcionada proporcionou *insights* para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão hídrica, alinhadas aos princípios da manufatura enxuta e da sustentabilidade ambiental.

Os resultados demonstram a necessidade de implementar medidas de controle e gestão eficazes para o uso responsável da água e o tratamento adequado dos efluentes gerados, visando não apenas a eficiência operacional, mas também a sustentabilidade ambiental e a segurança no local de trabalho.

Adicionalmente, destaca-se que o consumo de água na planta não está atualmente sendo controlado por meio de um sistema robusto de gestão. Essa lacuna representa uma oportunidade significativa para a implementação de práticas mais sustentáveis e eficientes. Ao estabelecer protocolos de monitoramento e controle do consumo de água, juntamente com estratégias para o tratamento adequado dos efluentes, pode-se não só reduzir os desperdícios e custos operacionais, mas também minimizar o impacto ambiental da operação industrial.

A análise econômica revela que o custo de implementação do estado futuro se amortiza no prazo de quatro anos, quando considerado o cenário de cobrança pelo uso dos recursos hídricos, resultando em uma lucratividade de vinte e um por cento (21%) sobre o valor investido. Além de promover a eficiência econômica, a implementação contribui para a preservação ambiental, a sustentabilidade dos recursos hídricos e o cumprimento das diretrizes legais prevista na Lei da Águas (Lei n. 9.433/97), que visam garantir o acesso equitativo e a proteção dos corpos d'água para as futuras gerações.

Ademais, essas ações visam não apenas fortalecer a competitividade da empresa, mas gera valor agregado ao produto final e fortalecer as relações com os stakeholders, que cada vez mais demandam práticas empresariais alinhadas com os princípios de governança ambiental, social e corporativa.

Por fim, os resultados obtidos ressaltam a importância da conscientização e engajamento de todas as partes interessadas, desde os funcionários da linha de produção até a alta administração, para garantir o sucesso e a sustentabilidade das iniciativas de gestão hídrica. É fundamental que haja um compromisso organizacional com a implementação de práticas mais sustentáveis e eficientes, incluindo a alocação de recursos adequados e o desenvolvimento de capacidades internas para monitorar e avaliar continuamente o desempenho ambiental da empresa.

Esta pesquisa ressaltou a importância de estudos que adotem abordagens integradas, as quais considerem não apenas a eficiência operacional, mas também os aspectos ambientais, como a conservação dos recursos hídricos, com o objetivo de promover uma indústria mais responsável e resiliente no uso desses recursos.

7.2 TRABALHOS FUTUROS

Considerando as delimitações identificadas, diversas direções para pesquisas futuras são sugeridas. Primeiramente, recomenda-se a realização de estudos em diferentes contextos geográficos e setores industriais para avaliar a aplicabilidade e a eficácia do Mapeamento do Fluxo de Valor em condições variadas e com diferentes estruturas econômicas e operacionais.

Além disso, seria benéfico explorar a implementação prática das recomendações do estado futuro para avaliar os impactos reais das práticas propostas. Isso incluiria a realização de estudos de caso em empresas que enfrentam custos diretos associados ao consumo de água, permitindo uma comparação mais abrangente dos resultados e uma compreensão mais profunda dos incentivos econômicos na gestão hídrica.

Por fim, pesquisas adicionais poderiam investigar a integração de novas tecnologias e metodologias de medição de água para aprimorar ainda mais a precisão dos dados e a eficiência dos processos. Tais estudos contribuirão para o desenvolvimento de abordagens mais robustas e refinadas na gestão sustentável dos recursos hídricos e na promoção de práticas empresariais responsáveis.

REFERÊNCIAS

ABDULMALEK, Fawaz A.; RAJGOPAL, Jayant. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. **Int. J. Production Economics**, v. 107, n.1, p. 223–236, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>. Acesso em: 31 ago. 2008.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14000:2015**. Sistemas de gestão ambiental — Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABUALFARAA, Wadhah. *et al*. Lean-Green Manufacturing Practices and Their Link with Sustainability: A Critical Review. **Sustainability**, v. 12, n. 3, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12030981>. Acesso em: 11 mai. 2022.

ALIGLERI, Lilian Mara; ALIGLERI, Luiz Antônio; KRUGLIANSKAS, Isak. **Gestão Industrial e Produção Sustentável**. São Paulo: Saraiva, 2016.

ALMEIDA, Eduardo Lavocat Galvão de. **Integração da sustentabilidade ambiental e mentalidade enxuta aplicadas em canteiros de obras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo: 2018. Disponível em: <bit.ly/3YDNMlv>. Acesso em 01 ago. 2024.

AL-SAIDI, Mohammad. Conflicts and security in integrated water resources management. **Environmental Science & Policy**, v. 73, p. 38–44, 1 jul. 2017. Disponível em: <bit.ly/3VKAAa0>. Acesso em: 03 mai. 2022.

ALVAREZ, Roberto dos Reis; ANTUNES JR., José Antônio. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Gestão & Produção**, v. 8, n. 1, p. 1–18, abr. 2001. Disponível em: <bit.ly/3iiFCvN>. Acesso em: 31 ago. 2022.

ALVES, Ângela Maria. **Proposta de uma estrutura de medição para qualidade do SPB - Software Público Brasileiro**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013. Disponível em: <bit.ly/3EUwRjd>. Acesso em: 22 jul. 2022.

ALVES QUEIROZ, Geandra. **Recomendações para a implantação da Manufatura Enxuta considerando os propósitos da Produção mais limpa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) —Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP: 2015. Disponível em: <bit.ly/3MatU0p>. Acesso em: 24 mai. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Água na indústria**: uso e coeficientes técnicos. Brasília, DF: ANA, 2019. Disponível em: <bit.ly/3EEb2V5>. Acesso em: 01 abr. 2024.

_____. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília, DF: ANA: 2021a. Disponível em: <https://bit.ly/3TXugfT>. Acesso em: 31 out. 2022.

_____. **Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, DF: ANA: 2021a. Disponível em: <bit.ly/3Upx5EA>. Acesso em: 31 out. 2022.

_____. **Atlas Águas:** Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano. Brasília, DF:ANA, 2021b. Disponível em: <bit.ly/3irBDgo>. Acesso em: 31 out. 2022.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (Minas Gerais). **Tabelas Tarifárias**. Belo Horizonte, MG: Arsae-MG, 2024. Disponível em: <bit.ly/3WO1yAW>. 30 jul. 2024.

ATALLAH, Álvaro Nagib; CASTRO, Aldemar Araújo. Revisão Sistemática da Literatura e Metanálise: a melhor forma de evidência para tomada de decisão em saúde e a maneira mais rápida de atualização terapêutica. *In*: **Medicina baseada em evidências**: fundamentos da pesquisa clínica. São Paulo: Lemos-Editorial, 1998. p. 42–48. Disponível em: <bit.ly/3VolDur>. Acesso em: 07 nov. 2022

BAL, Alperen; CEYLAN, Cemil; TAÇOĞLU, Caner. Using value stream mapping and discrete event simulation to improve efficiency of emergency departments. **International Journal of Healthcare Management**, v. 10, n. 3, p. 196–206, 3 jul. 2017. Disponível em: <bit.ly/3OVz5n3>. Acesso em: 07 nov. 2022.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (Brasil). **Focus – Relatório de Mercado**. Brasilia, DF: Banco Central do Brasil, 2024. Disponível em: < bit.ly/3M8aURM>. Acesso em: 14 ago. 2024.

BARALDI, Graziela Luzia. **Identificação de práticas lean and green em industrias químicas no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba. Santa Barbara d' Oeste, SP: 2017. Disponível em: < bit.ly/4dljTLp>. Acesso em 01 ago. 2024.

BAUDIN, Michel. **Working with Machines**: The Nuts and Bolts of Lean Operations with Jidoka. 1.ed. Nova Yorke, EUA: Productivity Press, 2007.

BAUMER-CARDOSO, Marina I. *et al*. Simulation-based analysis of catalyzers and trade-offs in Lean & Green manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, 1 jan. 2020. Disponível em: <bit.ly/3PosiCn>. Acesso em: 23 abr. 2022.

BELAYUTHAM, Sheila; GONZÁLEZ, Vicente. A. A lean approach to manage production and environmental performance of earthwork operation. *In:* Proceedings of IGLC 23 - 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Global Knowledge - Global Solutions. **Anais...**Perth, Austrália: IGLC 2015 Organizing Committee, jul. 2015.

BELAYUTHAM, Sheila; GONZÁLEZ, Vicente. Integrating lean into stormwater runoff management: a theoretical exploration. Proceedings of IGLC 21 - Global Solutions. Anais...Fortaleza, Brasil: IGLC 2013 Organizing Committee, jul. 2013. Disponível em: <bit.ly/3VBJvKY>. Acesso em: 01 mai. 2022.

BELLINI, Carlo Gabriel Porto; RECH, Ionara; BORENSTEIN, Denis. **Soft Systems Methodology: uma aplicação no" pão dos pobres" de Porto Alegre.** RAE eletrônica, v. 3, 2007.

BLEWITT, John. **Understanding Sustainable Development**. 1. ed. Londres, Inglaterra: Routledge, 2008.

BORGES, Fabrício Quadros. Planejamento integrado de recursos como estratégia de implantação da gestão hídrica no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e47410515226, 30 abr. 2021. Disponível em: <bit.ly/3OSDE1o>. Acesso em: 23 out. 2022.

BOUWER, Herman. Integrated water management: Emerging issues and challenges. **Agricultural Water Management**, v. 45, n. 3, p. 217–228, ago. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00092-5>. Acesso em: 24 out. 2022.

BRASIL. Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art.1o da Lei no 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF, 1998

BRYMAN, Alan. **Research Methods and Organization Studies**. 1. ed. New York: Routledge, 1989.

CALDERA, H. T. S.; DESHA, Cheryl; DAWES, Les Anthony. Exploring the role of lean thinking in sustainable business practice: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1546–1565, 20 nov. 2017. Disponível em: <bit.ly/3XQIjoQ>. Acesso em:

CAMERA, Elaine. **Lean construction como estratégia para melhorias em canteiros de obras: uma revisão sistemática na literatura nacional**. Dissertação (Mestrado)— Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho, Bauru, SP: 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/132553>. Acesso em: 05 mai. 2022.

CASTRO, César Nunes de. **Gestão Das Águas**: Experiências Internacional E Brasileira (Texto para discussão). Brasília, DF: Ipea, jun. 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br>. Acesso em: 9 out. 2022

CAUCHICK-MIGUEL, Paulo A. (COORDENADOR). **Metodologia de Pesquisa Em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

CHECKLAND, P. **Systems thinking, systems practice Chichester**: John Wiley & Sons, 1981.

CHIA, Eng Seng; GILBERT, F. K. P. A Large-Scale Systems Engineering Perspective of Water Management in Singapore. INCOSE International Symposium. **Anais.**.. INCOSE, 2012. Disponível em: <bit.ly/3B1Kegq>. Acesso em: 05 mai. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasil)**. O uso racional da água no setor industrial**. 2. ed. Brasília, DF: CNI, 2017. Disponível em: <bit.ly/3EIbHVs>. Acesso em: 26 mai. 2022.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL E CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Minas Gerais). Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG Nº 8, de 21 de novembro ne 2022. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado de Minas Gerais**: caderno 1: Diário Executivo, Belo Horizonte, ano 130, n. 244, p. 1-41, 02 dez. 2022. Disponível em: < bit.ly/3WASAFI>. Acesso em: 29 jul. 2024.

DAS, Kanchan. Integrating lean, green, and resilience criteria in a sustainable food supply chain planning model. **International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences**, v. 4, n. 2, p. 259–275, 2019. Disponível em: <bit.ly/3B3LGPj >. Acesso em: 01 mai. 2022.

DEIF, Ahmed. M. A system model for green manufacturing. **Journal of cleaner prodution**, v.19, n.14, p.1553-1559, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.022>. Acesso em: 05 mai. 2022.

DELOZIER, Jodi Lynn; BURBACH, Mark E. Boundary spanning: Its role in trust development between stakeholders in integrated water resource management. **Current Research in Environmental Sustainability**, v. 3, 2021. Disponível em: <bit.ly/3XRft7w>. Acesso em: 05 mai. 2022.

DEVI, O.; PUTU, D. K. Improving Overhaul Process on Steam Power Plants using Lean Thinking and LCA. *In:* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais**...Institute of Physics Publishing, 2020. Disponível em: <bit.ly/3OS38vM>. Acesso em: 20 abr. 2022.

DUARTE, Kerolayne, *et. al.* Uso do amido de batata como auxiliar de floculação em processo primário de tratamento de água para diminuição de cor e turbidez. **Journal of Exact Sciences – JES**, v.20, n.1, p.18-21, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3UjgntX>. Acesso em: 15 nov. 2023.

DÜES, Christina Maria; HUA TAN, Kim; LIM, Ming. Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain**. Journal of Cleaner Production**, v.40, p. 93-100, 2012. Disponível em: <bit.ly/3VGdpgW>. Acesso em: 02 mai. 2022.

EAIDGAH, Youness; *et al*. Visual management, performance management and continuous improvement: A lean manufacturing approach. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 7, n. 2, p. 187–210, 2016. Disponível em: <bit.ly/3UEhul3>. Acesso em: 11 out. 2022.

ELLER, Andrew. Rapid Assessment and Disposition: Applying LEAN in the Emergency Department. **Journal for Healthcare Quality**, v. 31, n. 3, p. 17–22, 2009. Disponível em: <bit.ly/3Fj9ilH>. Acesso em: 23 out. 2022.

FACHIN, Odília. **Fundamentos de Metodologia: Noções básicas em pesquisa científica**. 6. ed. São Paulo, SP: Saraiva, 2017.

FARIAS, Celso José; HEINRICH, Rafael Cristiano; VON BORSTEL ROESLER, Marli Renate. A invisibilidade da água na produção dos alimentos: interfaces entre economia e desenvolvimento sustentável. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 513-523, 2020. Disponível em: < bit.ly/3AjUBP2>. Acesso em: 05 mar. 2023

FAULKNER, William; Badurdeen, Fazleena. Sustainable Value Stream Mapping (Sus-MFV): methodology to visualize and assess manufacturing Sustainability performance. **Journal of Cleaner Production**, v.85, p.8-18, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.042>. Acesso em 03 mai. 2022.

FERGUSON, Mark E; TOKTAY, L. Beril. The effect of competition on recovery strategies. **Production and Operations Management**, v. 15, n. 3, p. 351–368, 2006. Disponível em: <bit.ly/3FkpCCE>. Acesso em: 31 out. 2022.

FERNANDES, Luara L. A.; ROCHA, Mércurie J.; COSTA, Dayana B. Prediction of environmental performance indicators for construction sites based on artificial neural networks. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019. **Anais.**..The International Group for Lean Construction, 2019. Disponível em: <bit.ly/3Ln448o>. Acesso em: 31 out. 2022.

FERNANDO, Manotas Duque Diego; RIVERA CADAVID, Leonardo. Lean manufacturing measurement: the relationship between lean activities and lean metrics. **Estudios Gerenciales**, v. 23, n. 105, p. 69–83, out. 2007. Disponível em: <bit.ly/3ukHnvn>. Acesso em: 31 out. 2022.

FERRAÇO, André Augusto Giuriatto. **A insuficiência de integração na gestão nacional dos recursos hídricos brasileiros como óbice estrutural ao desenvolvimento sustentável**. Dissertação (Mestrado em Direito) — Faculdade de Direito, Universidade de Brasília. Brasília, DF: 2019. Disponível em: <bit.ly/3uhl9u5>. Acesso em: 15 out. 2022

FERRER, Jorge Antônio Giles; *et al*. Vista do Manufatura Enxuta Sustentável – Metodologia De Aplicação Do Mapeamento De Fluxo De Valor Sustentável (Sus-MFV). **Revista Brasileira de Mecatrônica**, v.4, n.3, p.01-18, 2022 Disponível em: <bit.ly/3ilputx>. Acesso em: 10 maio. 2022.

FIRMAWAN, Ferry; OTHMAN, Fadil; YAHYA, Khairulzan. Improving project performance and waste reduction in construction projects: a case study of a government institutional building project. **International Journal of Technology**, v. 2, p. 182–192, 2012. Disponível em: <bit.ly/3Plwpii>. Acesso em: 31 out. 2022.

FOLINAS, Dimitrios; *et al*. Greening the agrifood supply chain with lean thinking practices. **International Journal of Agricultural Resources, Governance and**

Ecology, v. 10, n. 2, p. 129–145, 2014. Disponível em: <bit.ly/3Vuk0LJ>. Acesso em: 31 out. 2022.

FRANDSON, Adam; BERGHEDE, Klas; TOMMELEIN, Iris D. Production planing and control takt time planning for construction of exterior cladding. 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013. **Anais**...Fortaleza: International Group for Lean Construction (IGLC), 2 ago. 2013. Disponível em: <bit.ly/3OOqHpn>. Acesso em: 24 ago. 2022

GALHARDO, Israel. **Aplicação Dos Conceitos De Manufatura Enxuta Em Empresa De Equipamentos Elétricos Com Tipologia De Produção Engineer-To-Order**. Dissertação (Mestrado em Administração) — Instituto de Engenharia de Produção e Administração, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG: 2019. Disponível em: <bit.ly/3iz8JLK>. Acesso em: 31 out. 2022.

GALVÃO, Maria Cristine Barbosa; RICARTE, Ivan Luiz Marques. Revisão Sistemática da Literatura: conceituação, produção e publicação**. Logeion: Filosofia da informação**, v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019. Disponível em: <bit.ly/3VHBT9r>. Acesso em: 30 out. 2022

GARZA-REYES, José Arturo. Green lean and the need for Six Sigma. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 6, n. 3, p. 226–248, 2015. Disponível em: <bit.ly/3EP4EdE>. Acesso em: 29 abr. 2022.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOTSCHOL, Antje; DE GIOVANNI, Pietro; VINZI, Vicenzo Esposito. Is environmental management an economically sustainable business?. **Journal of Environmental Management**, v. 144, p. 73–82, 2014. Disponível em: <bit.ly/3Fd3z0I>. Acesso em: 19 nov. 2022.

JABAREEN, Yosef. A New Conceptual Framework for Sustainable Development. **Environment, Development and Sustainability**, v. 10, n. 2, p. 179–192, 2008. Disponível em: <bit.ly/3UuwVMd>. Acesso em 18 nov. 2022.

JASIULEWICZ-KACZMAREK, Malgorzata; DROZYNER, Przemyslaw. Maintenance Management Initiatives towards Achieving Sustainable Development. *In*: **Information Technologies in Environmental Engineering,** Spring, Berlin, Heldelberg: 2011. P 707-721. Disponível em: <bit.ly/3PmpCVK>. Acesso em: 09 mai. 2022.

KACH, Simei César. *et al*. Mapeamento do Fluxo de Valor: Otimização do Processo Produtivo sob a ótica da Engenharia da Produção. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, v.11, 2014. Disponível em: <bit.ly/3gYuPqh> Acesso em: 10 jul. 2022.

KAUER, Alberto. **Relatório Anual de Performance de Água 2020/2021**. Uberlândia, MG: 2021. Disponível em: < bit.ly/3OPGrsb >. Acesso em: 15 nov. 2022

KEYTE, Beau; LOCHER, Drew A. **The Complete Lean Enterprise: Value Stream Mapping for administrative and office processes**. Flórida: CRC Press, 2004.

KOLKMAN, Marinus J.; KOK, Malthijs; VAN DER VEEN, Anne. Mental model mapping as a new tool to analyse the use of information in decision-making in integrated water management. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 30, n. 4–5, p. 317–332, 2005. Disponível em: <bit.ly/3H0aZ8H>. Acesso em: 17 out. 2022.

LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. **Léxico Lean**: Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, v.1.0, 97p. 2003

LEAN INSTITUTE BRASIL. Fluxo Contínuo. Disponível em: <bit.ly/3VoEFkn>. Acesso em: 2 ago. 2022.

LEAN INSTITUTE BRASIL. Artigo - A casa STP é uma luz orientadora para a empresa que deseja iniciar sua jornada lean. Disponível em: <bit.ly/3ufua6Q>. Acesso em: 13 set. 2022.

LEONG, Wei Dong. *et al*. Lean and Green Manufacturing-a Review on its Applications and Impacts. **Process Integration and Oprimization for Sustainability**, v. 3, n.1, p. 5–23, 2019. Disponível em:<bit.ly/3l9V6jQ>. Acesso em 01 nov. 2022.

LINCK, Joachim; COCHRAN, David S. **The Importance of Takt Time in Manufacturing System Design**. SAE Techinical Paper, 1999. Disponível em: <bit.ly/3Vlb9v>. Acesso em: 24 ago. 2022

LIKER, Jeffrey. K. **O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LINTANG, S. A.; HARWATI. The implementation of green lean manufacturing in small scale industry: Reduction energy waste and emission. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **Anais**...IOP Publishing, 2019. Disponível em: <https://10.1088/1757-899X/673/1/012091>. Acesso em: 23 abr. 2022.

LOCHER, Drew A. **Value Stream Mapping for Lean Development: A How-To Guide for Stramlining Time to Market**. New York: CRC Press, 2008.

LORENZON DOS SANTOS, Daniel. *et al*. Environmental aspects in MFV: a study about barriers and drivers. **Production Planning and Control**, v. 30, n. 15, p. 1239–1249, 2019. Disponível em: <bit.ly/3PjlfJZ>. Acesso em 26 abr. 2022.

LUMMUS, Rhonda R.; VOKURKA, Robert J.; RODEGHIERO, Brad. Improving quality through value stream mapping: A case study of a physician's clinic. **Total Quality Management**, v.17, n.8, p.1063-1075, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14783360600748091>. Acesso em 05 nov. 2022.

MEGAYANTI, Windy; ANITYASARI, Maria; CIPTOMULYONO, udisubakti. Sustainable suppy chain value stream mapping (SSC-MFV) the applicatin in two bottle drinking water companies. *In*: **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations** Management. Bandung, Indonésia:

IEOM Society International, p. 3573-3585, 2018. Disponível em: <bit.ly/3sD0qAt>. Acesso em: 8 maio. 2022

MIERZA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na Indústria: Uso Racional e Reúso**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MITTAL, Varinder Kumar; *et al*. Adoption of Integrated Lean-Green-Agile Strategies for Modern Manufacturing Systems. **Procedia CIRP**, v. 61, p. 463–468, 2017. Disponível em: <bit.ly/3VE0z2G>. Acesso em: 28 mar. 2022.

MOLLENKOPF, Diane. *et al*. Green, lean, and global supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 40, n. 1/2, p. 14–41, 2010. Disponível em:< bit.ly/3B1XEJh>. Acesso em: 03 nov. 2022.

MUÑOZ-VILLAMIZAR, Andrés; et al. Green value stream mapping approach to improving productivity and environmental performance. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 68, n. 3, p. 608-625. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2018-0216>. Acesso em: 04 nov. 2022.

NALLUSAMY, S. *et al*. Sustainable green lean manufacturing practices in small scale industries-A case study. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 10, n. 62, p. 143–146, 2015. Disponível em: <bit.ly/3XFUFA9>. Acesso em 14 out. 2022.

NAWANIR, Gusman. *et al*. Less for More: The Structural Effects of Lean Manufacturing Practices on Sustainability of Manufacturing SMEs in Malaysia. Internacional **Journal of Supply Chain Management**, v. 2, n. 2, p. 961–975, abr. 2020. Disponível em:< bit.ly/3FeOETx>. Acesso em: 27 abr. 2022.

NGOUNE, S.; KHOLOPANE, P. The application of Lean Six Sigma in alleviating water shortage in limpopo rural area to avoid societal disaster. *In*: **2016 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICIMET)**. IEEE, p.2386-2391, 2017. Disponível em:<bit.ly/3iiYJpx>. Acesso em: 29 abr. 2022.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OECD). **Governança dos Recursos Hídricos no Brasil**. OECD Publishing, Paris, França: 2015. Disponível em: <bit.ly/3H1Kb82>. Acesso em 10 nov. 2022.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala**. Rio de Janeiro: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, Lia de Souza. **Lean Thinking em serviços de saúde: O processo de implantação em uma maternidade privada do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado) —ISCTE Business School, Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, Portugal: 2019. Disponível em: < bit.ly/3ixnLSd>. Acesso em: 03 nov. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório Anual do Desenvolvimento Humano 2014**. PNUD, Nova York, NY, 2014. Disponível em: <https://news.un.org/pt/tags/relatorio-anual-2014>. Acesso em: 11 out. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇOES UNIDAS PARA EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). **Visão geral das mensagens centrais do relatório mundial das nações unidas sobre o desenvolvimento dos Recursos Hídricos 4: O manejo dos recursos hídricos em condições de incerteza e risco**. UNESCO-WWAP, 2012.

_____. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobreo Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020**: **Água e Mudança Climática**. UNESCO-WWAP**,** 2020. Disponível em: <bit.ly/3uhTZTP>. Acesso em: 23 out. 2022.

_____. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos 2021: o valor da água; fatos e dados.** UNESCO-WWAP, 2021. Disponível em: <www.unesco.org/water/wwap>. Acesso em: 13 out. 2022.

PAHL-WOSTL, Claudia. *et al*. The importance of social learning and culture for sustainable water management. **Ecological Economics**, v. 64, n. 3, p. 484–495, 2008. Disponível em:<bit.ly/3XSgaxq>. Acesso em: 12 out. 2022.

PALANGE, Atul; DHATRAK, Pankaj. Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 729–736, 2021. Disponível em: <bit.ly/3VnsMeD>. Acesso em: 23 abr. 2022.

PEI, Zhi, *et al*. Twenty-year retrospection on green manufacturing: A bibliometric perspective. IET Collaborative Intelligent Manufacturing, v.3, n.4, p. 303-323, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1049/cim2.12038>. Acesso em 05 mai. 2022.

PEREIRA, Rosemara A.; BRITO, Vania F. **Aplicação do conceito lean kaizen na gestão dos sistemas de abastecimento de água potável para controle e redução de perdas**. Monitora Tecnologia e Informação Ltda. Barueri, SP: 2010.

PINHEIRO, Larissa Maria P.; TOLEDO, José Carlos. DE. Lean thinking e lean manufacturing. **Lean Thinking e Lean Manufacturing. GEPEQ - Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Carlos**, São Carlos, SP, 2014.

PINTO JUNIOR, Marcos José A.; MENDES, Juliana Veiga A Service of zbw Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft Leibniz Information Centre for Economics**. Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 10, n. 4, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3926/jiem.2268>. Acesso em: 09 mai. 2022.

PIRES, ADRIANA MM; MATTIAZZO, MARIA EMÍLIA. Efluentes da indústria processadora de batata x preservação do meio ambiente ênfase no uso agrícola de resíduos. *In*: Seminário Mineiro sobre processamento de batatas, 2005, Pouso Alegre/MG. **[Anais...]** Pouso Alegre/MG: EPAMIG, p. 1-22,2005.

RABNAWAZ AHMED, Rana; ZHANG, Xueqing. Multi-layer value stream assessment of the reverse logistics network for inert construction waste management. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 170, p. 105574, 2021. Disponível em: <bit.ly/3ucduxj>. Acesso em: 29 abr. 2022.

RAHANI, Abdul Rahman; AL-ASHRAF, Muhammad. Production flow analysis through Value Stream Mapping: A lean manufacturing process case study. **Procedia Engineering**, v. 41, p. 1727–1734, 2012. Disponível em: <bit.ly/3gQa9ki>. Acesso em: 30 out. 2022.

REWERS, Paulina; TROJANOWSKA, Justyna; CHABOWSKI, Przemyslaw. Tools and methods of Lean Manufacturing-a literature review. *In*: **Proceedings 7th International Technical Conference Technological Forum 2016**. Czech Republic: 2016. Disponível em: <bit.ly/3gNemW>. Acesso em: 15 set. 2022

ROGERS, Peter P.; JALAL, Kazi F.; BOYD, John A. **An Introduction to Sustainable Development**. 1. ed., Londres, Inglaterra: Routledge, 2007.

ROMEIRA, Bárbara; MOURA, Ana; ROBAINA, Margarita. The Kanban System's Environmental Impacts: A Comparative Study. In: **Proceedings of the 5th NA International Conference on Industrial Engineering and Operations Management August**. p. 1396-1407, 2020. Disponível em: <bit.ly/3a2RX3h>. Acesso em 06 mai. 2022.

ROMEIRA, Karoline Mansano. **Desenvolvimento e Caracterização de Bioplástico obtido a partir do amido residual proveniente da industrialização de batata frita**. Dissertação (Mestrado Profissional) — Faculdade Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho. São Carlos, SP: 2015. Disponível em: <bit.ly/3MatU0p>. Acesso em: 24 mai. 2022.

ROTHER, Edna Terezinha. Revisão Sistemática. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 20, n. 2, 2007. Disponível em: <bit.ly/3yTHKRd>. Acesso em: 12 mai. 2022.

ROTHER, Mike; HARRIS, Rick. **Creating Continuous Flow: Na Action Guide for Managers, Engineers, and Production Associates.** 1. ed., Cambridge, USA: Productivity Press, 2001. 105p.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar: Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdício.** São Paulo: Lean Institute Brasil, 2012.

SALGADO, Eduardo Gomes, *et al*. Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 3, p. 344–356, 2009. Disponível em: <bit.ly/3uf5UBV>. Acesso em: 01 nov. 2022.

SANTOS, Diogo Carvalho. **Aplicação do pensamento enxuto em ambientes administrativos públicos por meio da técnica business process model and notation: uma pesquisa-ação no IFSP Campus São José dos Campos**. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração) — Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG: 2021. Disponível em:<bit.ly/3Fka5D1>. Acesso em: 23 out. 2022.

SANTOS, Gabriele Lacerda. **Proposta de uso integrado entre o Mapeamento do Fluxo de Valor e a Simulação a Eventos Discretos em uma fábrica de laticínios**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG: 2016. Disponível em: <bit.ly/3XLOMRP>. Acesso em: 30 ago. 2022.

SANTOS, Luciana Costa; GOHR, Cláudia Fabiana; SANTOS, Eder Jonis dos. Aplicação Do Mapeamento Do Fluxo De Valor Para A Implantação Da Produção Enxuta Na Fabricação De Fios De Cobre. **Revista Gestão Industrial**, v. 7, n. 4, 2012. Disponível em: < bit.ly/3H0W5iu>. Acesso em: 23 out. 2022.

SHAHRIAR, Md Munem; *et al*. Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 8, p. 100488, 2022. Disponível em: <bit.ly/3OSBrTE>. Acesso em: 29 abr. 2022.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Editora Bookman, 1996.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes; SILVA, Eraldo Jannone da; OMETTO, Aldo Roberto. Green manufacturing: uma análise da produção científica e de tendências para o futuro. **Production**, v. 26, n. 3, p. 642–655, 2016. Disponível em:<https://doi.org/10.1590/0103-6513.032513>. Acesso em: 01 mai. 2022.

SILVA, Samiria Maria Oliveira, *et al*. Proposta de gestão integrada das águas urbanas como estratégia de promoção da segurança hídrica: o caso de Fortaleza. **Engenharia Sanitária Ambien**tal, v. 24, n. 21, p. 239–250, 2019. Disponível em:<bit.ly/3gON5lW>. Acesso em: 03 nov. 2022.

SOARES, Patrícia Bourguignon, *et al*. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 175–185, 2016. Disponível em:<https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100067>. Acesso em: 11 nov. 2022.

SODKOMKHAM, Thanwarhat; RATANATAMSKUL, Chavalit; CHANDRACHAI, Achara. An Integrated Lean Management, IoT and MFCA Systems for Water Management of Industrial Manufacturing in Thailand. *In:* **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, 2021. Disponível em: <bit.ly/3NeeRTt>. Acesso em: 11 nov. 2022.

SONE, Julian. S. *et al*. Water Security in an Uncertain Future: Contrasting Realities from an Availability-Demand Perspective. **Water Resources Management**, p. 1-17, 2022. Disponível em: < https://doi.org/10.1007/s11269-022-03160-x>. Acesso em: 07 mai. 2022.

SOUSA, Angélica Silva de; OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; ALVES, Laís Hilário. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. **Cadernos da Fucamp**, v. 20, n. 43, p. 64–83, 2021. Disponível em: < bit.ly/3UmqkU3>. Acesso em: 07 mai. 2022.

STACH, Steve. In Situ Recycling of Cleaning and Rinsing Fluids to Meet Lean & Green Cleaning Process Targets. *In***: IPC APEX EXPO Conference Proceedings**, 2013. Disponível em: <bit.ly/3incqUp>. Acesso em: 8 mai. 2022.

STOLL, Alexander; *et al*. Lean and Environmentally Friendly Manufacturing-Minimum Quantity Lubrication (MQL) is a Key Technology for Driving the Paradigm Shift in Machining Operations. *In*: **SAE World Congress & Exhibition**, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.4271/2008-01-1128>. Acesso em 06 mai. 2022.

TAMJIDILLAH, Mastiadi; *et al*. The model relationship of wastes for parameter design with green lean production of fresh water. **Scientific Review Engineering and Environmental Sciences**, v. 26, n. 4, p. 481–488, 2017. Disponível em: <bit.ly/3B3A6DT>. Acesso em 03 mai. 2022.

TAVARES, Débora Lopes. **Uma contribuição para a integração Lean-Green para micro e pequenas empresas de manufatura metal mecânica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico, Univrsidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC: 2017. Disponível em: <bit.ly/4dcNRBh>. Acesso em 01 ago. 2024.

TEIXEIRA, Pedro; *et al*. Connecting lean and green with sustainability towards a conceptual model. **Journal of Cleaner Production**, v. 322, p. 129047, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129047>. Acesso em: 28 abr. 2022.

TEZEL, Algan; AZIZ, Zeeshan. From conventional to IT based Visual Management: A conceptual discussion for lean construction. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 22, p. 220–246, 2017. Disponível em: < bit.ly/3H2szsX>. Acesso em: 15 nov. 2022.

VAIS, Adrian. *et al*. “Lean and Green” at a Romanian secondary tissue paper and board mill - Putting theory into practice. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 46, n. 1, p. 44–74, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.06.005>. Acesso em: 15 abr. 2022

VAN MAANEN, John. Reclaiming Qualitative Methods for Organizational Research: A Preface. **Administrative Science Quarterly**, v. 24, n. 4, p. 520–526, 1979. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2392358>. Acesso em: 18 nov. 2022.

VILES, Elisabeth; *et al*. Lean–green improvement opportunities for sustainable manufacturing using water telemetry in agri-food industry. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 2240-2252, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13042240>. Acesso em: 02 mai. 2022.

VOTTO, Rodrigo Goulart; FERNANDES, Flávio César Faria. Produção enxuta e teoria das restrições: proposta de um método para implantação conjunta na Indústria de Bens de Capital sob Encomenda. **Gestão & Produção**, v. 21, n. 1, p. 45–63, 2014. Disponível em: <bit.ly/3ufy3IW>. Acesso em: 10 ago. 2022.

WATER FOOTPRINT NETWORK (2017)

WANG, ChihHsuan. A systematic approach to select the optimal project portfolios for green manufacturing: An empirical study on TFT-LCD fabrication processes. *In:* **2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations**

Management (IEOM). IEEE, p. 1-15, 2015. Disponível em: <bit.ly/3FilfYD>. Acesso em: 10 ago. 2022.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROSS, Daniel. **A máquina que mudou o mundo: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). **Report of the World Commission on Environment and Development**: Our common future. Nova York: UN, 1987. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/139811>. Acesso em: 20 nov. 2022.

WORLD WATER COUNCIL (WWC). **Ministerial Declaration of The Hague on Water Security in the 21st Century.** Haia: 2000. Disponível em: <bit.ly/3XNEUqI>. Acesso em: 10 out. 2022.

_____. **Water and Green Growth:** Beyond the Theory for Sustainable Future. Korea: 2015. Disponível em: <www.worldwatercouncil.org>. Acesso em: 16 out. 2022.

XAVIER, André; BENTES, Natália Mascarenhas Simões. Limites, desafios e oportunidades de participação na gestão de recursos hídricos: uma análise do marco jurídico internacional e uma revisão integrativa da literatura sobre participação nos comitês de bacias hidrográficas brasileiros. **Direito Público**, v. 17, n. 95, p. 99–127, set. 2020. Disponível em: <bit.ly/3Y0gACe>. Acesso em: 23 nov. 2022.

ARTIGOS PUBLICADOS

RIBEIRO, Erica Carolina; *et al.* Otimização de uma carteira de crédito utilizando programação linear e análise de sensibilidade. *In***: ENEGEP 2022 Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2022, Foz do Iguaçu/PR - Brasil, 2022.

RIBEIRO, Erica Carolina; GOMES, José Henrique de Freitas. Uso racional de recursos hídricos usando a filosofia de manufatura enxuta: Uma revisão sistemática da literatura. *In***: ENEGEP 2022 Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2022, Foz do Iguaçu/PR - Brasil, 2022.

RIBEIRO, Erica Carolina; GOMES, Lucas. P.; SILVA, Antônio. S.; PAMPLONA, Edson. O. Análise De Viabilidade Econômica E De Riscos De Investimento De Uma Choperia Na Cidade De Itajubá/MG. *In***: XXVIII Simpep 2021 Simpósio de Engenharia de Produção,** 2021, Bauru/SP – Brasil, 2021.