



Metodologias Lean Green e Economia Circular

CATARINA GOMES DA SILVA

Setembro de 2023

METODOLOGIAS LEAN GREEN E ECONOMIA CIRCULAR

Catarina Gomes da Silva

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

METODOLOGIAS LEAN GREEN E ECONOMIA CIRCULAR

Catarina Gomes da Silva

1181172

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Professora Doutora Maria Teresa Ribeiro Pereira e coorientação da Professora Doutora Marisa João Guerra Pereira de Oliveira por parte do ISEP e da Doutora Viviana Pinto por parte do Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI).

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação só foi possível graças à generosa contribuição de várias pessoas, às quais desejo expressar a minha sincera gratidão.

Em primeiro lugar, à minha orientadora, a Engenheira Maria Teresa Pereira pela orientação, disponibilidade, sugestões pertinentes e conhecimentos transmitidos ao longo da realização deste trabalho.

À Engenheira Liliana Gonçalves e à Bruna Gomes, pela orientação do trabalho realizado na Toyota Caetano Portugal Ovar. Agradeço a prontidão e o acompanhamento demonstrados e, acima de tudo, o auxílio na superação de dificuldades.

À minha família, e em particular aos meus pais, quero expressar a minha profunda gratidão por todo o apoio, carinho, incentivo e otimismo ao longo de todo o meu percurso académico.

Ao meu namorado, João, pelo apoio incondicional, agradeço a paciência e toda a força e motivação que me deu ao longo desta fase.

A todos os meus amigos, por me encorajarem e apoiarem em todos os momentos.

Por fim, quero estender o meu agradecimento a todos aqueles que, direta ou indiretamente, me ajudaram a concretizar este trabalho.

página propositadamente em branco

RESUMO

A implementação de metodologias *Lean green* na Economia Circular é uma abordagem para otimizar o desempenho ambiental e económico de empresas e indústrias. O *Lean green* combina princípios de produção *Lean* e desenvolvimento sustentável, procurando eliminar desperdícios e melhorar a eficiência energética e a gestão de recursos. A sua base incorpora a implementação de tecnologias *Lean*, tais como fontes de energia renováveis e conservação de recursos naturais. O objetivo deste trabalho é investigar, através de uma revisão estruturada da literatura, como o *Lean green* pode apoiar ou dificultar a implementação e sustentabilidade da Economia Circular nas organizações. A tese visa explorar os conceitos *Lean green* e Economia Circular, bem como a sua relação e integração, de modo a ser benéfico. Posteriormente será definido o *roadmap* de ferramentas *Lean green* e Economia Circular a implementar. A presente dissertação apresenta uma metodologia abrangente e inovadora para o desenvolvimento de um *roadmap* para a melhoria de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais. Por meio da aplicação desta metodologia, empresas de diversos setores poderão enfrentar os desafios associados ao tratamento de efluentes industriais, garantindo a conformidade com as regulamentações ambientais, a redução do impacto negativo no ecossistema e o fomento à responsabilidade social corporativa. Ao longo do processo, foram identificados diversos problemas e impactos ambientais associados ao funcionamento da estação de tratamento, que vão desde o consumo de energia até ao uso de produtos químicos e gestão de resíduos. Para abordar esses desafios, foram propostas ações concretas baseadas em princípios de Economia Circular e *Lean green*, que promovem a redução de emissões de compostos orgânicos voláteis, incorporação de resíduos em processos produtivos, entre outras. Todas essas ações têm o potencial de aumentar a eficiência energética, reduzir o consumo de água, diminuir as emissões de carbono e minimizar o impacto ambiental. Assim sendo, a gestão eficiente, a adoção de tecnologias avançadas e a conformidade com regulamentações ambientais podem levar a melhorias substanciais no desempenho das estações de tratamento de águas residuais industriais, tornando possível alcançar metas mais sustentáveis sem comprometer a qualidade do tratamento das águas residuais.

PALAVRAS-CHAVE

Lean green; Economia Circular; *Roadmap*; Ambiente; Sustentabilidade.

página propositadamente em branco

ABSTRACT

The implementation of Lean green methodologies in the Circular Economy is an approach to optimize the environmental and economic performance of companies and industries. Lean green combines Lean production principles and sustainable development, aiming to eliminate waste and improve energy efficiency and resource management. Its foundation includes the implementation of Lean technologies such as renewable energy sources and natural resource conservation. The objective of this work is to investigate, through a structured literature review, how Lean green can support or hinder the implementation and sustainability of the Circular Economy in organizations. The thesis aims to explore the concepts of Lean green and Circular Economy, as well as their relationship and integration, for mutual benefit. Subsequently, a roadmap of Lean green and Circular Economy tools will be defined. This dissertation presents a comprehensive and innovative methodology for the improvement roadmap of an Industrial Wastewater Treatment Plant. Through the application of this methodology, companies from various sectors can address the challenges associated with industrial effluent treatment, ensuring compliance with environmental regulations, reducing the negative impact on the ecosystem, and promoting corporate social responsibility. Throughout the process, various environmental problems and impacts associated with the operation of the treatment plant were identified, ranging from energy consumption to the use of chemicals and waste management. To address these challenges, concrete actions based on Circular Economy and Lean green principles were proposed, promoting the reduction of volatile organic compound emissions, the incorporation of waste into production processes, among others. All these actions have the potential to increase energy efficiency, reduce water consumption, decrease carbon emissions, and minimize environmental impact. Therefore, efficient management, the adoption of advanced technologies, and compliance with environmental regulations can lead to substantial improvements in the performance of industrial wastewater treatment plants, making it possible to achieve more sustainable goals without compromising the quality of wastewater treatment.

KEYWORDS

Lean green; Circular Economy; Roadmap; Environment; Sustainability.

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
LISTAS DE SIGLAS.....	XI
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Contextualização	13
1.2. Objetivos	14
1.3. Metodologia	14
1.4. Apresentação da empresa do caso de estudo	14
1.5. Estrutura do relatório.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. Filosofia <i>Lean</i>	18
2.1.1. <i>Toyota Production System</i>	19
2.1.2. Princípios <i>Lean</i>	20
2.1.3. <i>Lean green</i>	22
2.1.4. Ferramentas <i>Lean</i>	23
2.2. Economia Circular.....	27
2.2.1. Definição	27
2.2.2. Estratégias da Economia Circular.....	28
2.2.3. Vantagens e condicionantes	28
2.2.4. Economia Verde.....	29
2.3. <i>Lean green</i> e Economia Circular.....	29
2.4. <i>Roadmap</i>	31
3. MÉTODOS E APLICAÇÃO	33
3.1. Caracterização dos processos da ETARI	33
3.2. Processo de <i>roadmapping</i>	35
3.2.1. Avaliação inicial e diagnóstico	35
3.2.2. Estabelecimento de objetivos.....	37
3.2.3. Definição de ações específicas.....	37
3.2.4. Alocação de recursos	39
3.2.5. Implementação e controlo.....	39
3.2.6. Comunicação.....	39
3.2.7. Avaliação contínua	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. Apresentação de resultados.....	41
4.2. Discussão de resultados	41
5. CONCLUSÃO	45

5.1. Conclusões finais	45
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
APÊNDICE A – Roadmap.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Análise de coocorrência do software <i>VOSviewer</i>	17
Figura 2 – Casa do TPS [19]	19
Figura 3 – Esquema do processo de tratamento na ETARI	34
Figura 4 – <i>Roadmap</i> desenvolvido	41

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Os sete desperdícios (adaptado de [9, 10, 18, 19])	21
Tabela 2 – Aplicação de práticas <i>Lean green</i>	26
Tabela 3 – Incompatibilidade de práticas <i>Lean green</i>	26
Tabela 4 – Estratégias da Economia Circular [50, 56, 57]	28
Tabela 5 – Indicadores de desempenho	36

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS

Lista de Siglas

ATCEL	A Tijoleira Central de Estarreja, Lda.
CEEP	Circular Economy Embedded Production
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
EPA	Environmental Protection Agency
ETARI	Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais
INEGI	Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
JIT	Just In Time
KPI	Key Performance Indicator
NIST	National Institute of Standards and Technology
OEE	Overall Equipment Effectiveness
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
SMED	Single Minute Exchange of Die
TPM	Total Productive Maintenance
TPS	Toyota Production System
TQM	Total Quality Management
VSM	Value Stream Mapping

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é efetuada uma contextualização do trabalho a desenvolver. Seguidamente, são explicitados os objetivos que se pretendem alcançar, bem como a metodologia utilizada para a elaboração da presente dissertação. Posteriormente, realiza-se uma breve descrição da empresa que proporcionou o desenvolvimento deste estudo e, por fim, é apresentada a estrutura do documento, incluindo um breve esclarecimento do que é abordado em cada capítulo.

1.1. Contextualização

A escassez de recursos naturais e a pressão sobre o ecossistema devido ao uso excessivo de recursos é uma preocupação crescente da sociedade [1]. Para lidar com essa situação crítica, a Economia Circular foi proposta como um modelo económico que procura substituir o conceito de fim de vida de um produto através da redução, reutilização, reciclagem, *design* e recuperação desde a produção até ao consumo [2]. A Economia Circular promove a integridade ambiental e a prosperidade económica através de um desenvolvimento sustentável. Entre as ações da Economia Circular, destacam-se a eliminação de desperdícios, tais como o consumo excessivo de água, energia e matéria-prima [1, 3, 4].

Já a filosofia *Lean*, é amplamente utilizada em diversas áreas, como programação, gestão da produção e desenvolvimento de novos produtos. Além disso, também é eficaz na redução do uso de recursos e no combate aos custos e desperdícios, contribuindo para alcançar metas de sustentabilidade. A metodologia *Lean*, ao propor um modelo de negócios sem desperdícios, favorece a implementação de práticas sustentáveis e é uma catalisadora para a implementação de operações circulares [5].

No entanto, com a crescente importância do desenvolvimento sustentável, foram levantadas questões acerca da produção *Lean* não contribuir apenas para o valor do cliente, mas também para os benefícios ambientais [6]. Por exemplo, algumas ferramentas *Lean*, como o 5S, *Total Productive Maintenance* e *Value Stream Mapping*, podem ser adaptadas e utilizadas para melhorar o desempenho ambiental das empresas [4, 7]. A integração do conceito de Economia Circular na produção *Lean green* é cada vez mais importante para as empresas e para a sociedade em geral, pois ajuda a promover a sustentabilidade e a eficiência energética na cadeia de produção.

Embora existam trabalhos que abordam tanto a Economia Circular como a produção *Lean*, ainda há uma lacuna de pesquisa sobre como combinar esses dois temas nas operações de produção, já que ambos se concentram na otimização dos recursos [7, 8]. O objetivo deste trabalho é investigar, através de uma revisão estruturada da literatura, como o *Lean green* pode apoiar ou dificultar a implementação e sustentabilidade da Economia Circular nas organizações.

Em resumo, a integração do conceito de Economia Circular na produção *Lean green* é fundamental para promover a sustentabilidade e a eficiência energética na cadeia de produção, além de contribuir para a preservação do meio ambiente e para a construção de uma sociedade mais justa e sustentável. Portanto, é importante que as empresas adotem práticas de Economia Circular e *Lean green* para maximizar os benefícios desses conceitos e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é investigar, através de uma revisão estruturada da literatura, como o *Lean green* pode apoiar ou dificultar a implementação e sustentabilidade da Economia Circular nas organizações. A tese visa explorar os conceitos *Lean green* e Economia Circular, bem como a sua relação e integração, descobrindo também quando e como integrar o conceito de Economia Circular na produção *Lean green*, de modo a ser benéfico. É esperado que através de um caso de estudo seja desenvolvido e validado um *roadmap* para implementar metodologias ou ferramentas *Lean green* em Economia Circular.

1.3. Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho consiste maioritariamente numa abordagem indutiva. Este tipo de abordagem caracteriza-se pela recolha de informação e elaboração de uma teoria como resultado da análise dessa informação.

Esta investigação é de natureza exploratória. Os estudos exploratórios pretendem descobrir o que está a acontecer, procuram novas compreensões, questionam o entendimento existente e procuram avaliar os fenómenos com uma nova perspetiva, através da pesquisa da literatura, recorrendo a especialistas e fontes fidedignas.

Por fim, a principal estratégia de investigação será o estudo de caso, desenvolvendo conhecimento detalhado e intensivo acerca de um caso, ou de um pequeno número de casos relacionados.

Assim, o trabalho a realizar terá início com o estudo e revisão da literatura sobre o tema em estudo. Seguidamente serão abordadas as metodologias a implementar, com recurso a casos práticos e casos de estudo. Posteriormente será definido o *roadmap* de ferramentas *Lean green* e Economia Circular a implementar. Por último, este será validado e serão tecidas conclusões e propostas de trabalho futuro.

1.4. Apresentação da empresa do caso de estudo

Em 1946, foi fundada a empresa Martins & Caetano & Irmão, Lda., a fábrica de carroçarias de autocarros que mais tarde daria origem à Salvador Caetano. A Toyota Caetano Portugal é uma empresa que opera no setor automóvel em Portugal e é uma parceria entre a Toyota Motor Europe e o Grupo Salvador Caetano, um dos maiores grupos automóveis em Portugal. A empresa tem como principal objetivo a produção e comercialização de veículos ligeiros da marca Toyota [9].

A fábrica da Toyota Caetano Portugal, localizada em Ovar, é dedicada à produção do *Toyota Land Cruiser* série 70 e conta com o trabalho de cerca de 200 colaboradores [10].

Desde 1971 a produção desta unidade fabril abasteceu o mercado nacional, assim como cerca de 16 mercados de exportação. Esta fábrica tem um papel significativo na história da Toyota em Portugal, fortalecendo a proximidade e a confiança com os portugueses [10].

A Toyota Caetano Portugal procura incessantemente manter-se como líder de mercado em todas as suas áreas de atuação. É uma empresa reconhecida como íntegra na sua relação com o ambiente

e a comunidade, primando pela preocupação com seus colaboradores e clientes. Compromete-se também com a melhoria contínua e com a constante satisfação das necessidades do cliente [9].

A Toyota Caetano Portugal aspira a ser uma referência em todas as suas áreas de atuação, destacando-se pela sua capacidade de inovação, habilidade para enfrentar desafios e diversificação dos serviços oferecidos.

1.5. Estrutura do relatório

O presente relatório encontra-se estruturado em cinco capítulos.

No primeiro capítulo, denominado por Introdução, é efetuada uma contextualização do trabalho desenvolver. Seguidamente, são explicitados os objetivos que se pretendem alcançar, bem como a metodologia utilizada para a elaboração da presente dissertação. Posteriormente, realiza-se uma breve descrição da empresa que proporcionou o desenvolvimento deste estudo e, por fim, é apresentada a estrutura do documento incluindo um breve esclarecimento do que é abordado em cada capítulo.

De seguida, avança-se para a Revisão Bibliográfica. Inicialmente, este capítulo descreve a metodologia da revisão da literatura, clarificando o método adotado para selecionar os recursos literários, incluindo as ferramentas de pesquisa e as palavras-chave utilizadas, bem como o gestor de referências adotado. Em seguida, é efetuada uma revisão bibliográfica sobre os conteúdos relacionados com o trabalho, concretizando o seu estado da arte.

O terceiro capítulo apresenta uma metodologia abrangente e inovadora para o desenvolvimento de um *roadmap* para a melhoria de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais. Esta metodologia promove uma abordagem holística e efetiva para o desenvolvimento sustentável das Estações de Tratamento de Águas Residuais Industriais, contribuindo para a promoção da qualidade ambiental e do bem-estar das comunidades atendidas.

O quarto capítulo apresenta os resultados deste estudo. Primeiramente é identificado e clarificado o *roadmap* desenvolvido. De seguida surge uma discussão acerca do trabalho e dos objetivos atingidos, bem como das etapas a desenvolver mais tarde.

Para finalizar, o quinto capítulo deste estudo dedica-se às conclusões e às perspetivas para trabalhos futuros.

Quando estes se demonstrassem relevantes, então o artigo seria tido em consideração para o desenvolvimento do trabalho. Deste modo, foi criado um conjunto de referências conveniente e limitado. O *Mendeley Reference Manager* foi o gestor de referências selecionado para organizar os recursos bibliográficos. Estes recursos são do tipo: artigo científico, artigo de jornal, documento de conferência, livro ou relatório.

A partir da literatura ponderada e analisada, depreendeu-se que os dois grandes temas a considerar na elaboração da revisão bibliográfica seriam "Filosofia *Lean*" e "Economia Circular". Para melhor sustentação do estudo a desenvolver, foi também abordado e aprofundado o tema "*Roadmap*". Estes três temas apresentam-se nos seguintes subcapítulos.

O primeiro subcapítulo apresenta o significado e a origem da filosofia *Lean*, bem como os seus princípios. Aborda também o conceito *Lean green* e as ferramentas a ele associadas, referindo exemplos de casos práticos.

O segundo subcapítulo aborda a origem e definição de Economia Circular. São também explicitadas as estratégias, vantagens e condicionantes da sua implementação, bem como o conceito de Economia Verde.

No terceiro subcapítulo é efetuada uma ligação entre os termos *Lean green* e Economia Circular.

Por fim, no quarto e último subcapítulo, é definido e caracterizado o conceito de *roadmap*, bem como as suas vantagens e aplicações.

2.1. Filosofia *Lean*

O crescente desenvolvimento da indústria tem criado um mercado cada vez mais competitivo, pressionando as organizações a encontrar soluções para melhorar a qualidade dos seus produtos, diminuir os custos, acelerar o tempo de entrega dos serviços e aumentar a sua flexibilidade [11]. A filosofia *Lean* visa tornar as organizações mais competitivas no mercado, melhorando o seu desempenho, aumentando a sua eficiência e garantindo a satisfação dos clientes. Isso é alcançado através da eliminação de ineficiências e de etapas do processo que não agregam valor, permitindo que os produtos sejam entregues em prazos mais curtos, com elevada qualidade [12].

Womack e Jones [13] definem *Lean* como uma abordagem que procura recorrer a metade das horas de trabalho, reduzir as não conformidades no produto final para metade, utilizar um terço da engenharia e eliminar metade do espaço ocupado pela produção, garantindo o uso de metade do *stock*.

O Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia – *National Institute of Standards and Technology* (NIST) [14] identifica a filosofia *Lean* como uma ferramenta sistemática que procura identificar e eliminar desperdícios, através da melhoria contínua. Desse modo, é possível tornar o processo mais fluído e alcançar os objetivos definidos, mantendo o foco no cliente [14].

Lean é um procedimento utilizado para acelerar as metodologias envolventes e reduzir o desperdício de todo o processo [15]. De acordo com Shah e Ward [16], *Lean* é um método que abrange tanto as pessoas como os componentes internos e externos de uma empresa. É um sistema técnico integrado na organização que visa eliminar ou reduzir o desperdício através da utilização de metodologias específicas [16].

Segundo Radnor [17], *Lean* é uma ferramenta que se baseia na melhoria contínua dos métodos, procurando aumentar o valor para o cliente, reduzir as atividades que não criam valor (Muda), bem como minimizar as irregularidades causadas pelo sistema de operação (Mura) e a sobrecarga de equipamentos ou operadores (Muri). Isso é realizado com o objetivo de promover a eficiência e a eficácia da produção [17].

Convergindo as perspectivas dos diferentes autores, a produção *Lean* pretende, essencialmente, otimizar a eficiência das operações e processos e eliminar o desperdício [18].

2.1.1. Toyota Production System

O termo *Lean* foi inicialmente mencionado por Womack, Jones e Roos [13] para descrever o Sistema de Produção Toyota – *Toyota Production System* (TPS). Após a Segunda Guerra Mundial, a indústria automóvel japonesa enfrentou grandes dificuldades financeiras, tecnológicas e interpessoais [19]. Este sistema surgiu para satisfazer as necessidades da Toyota, de modo a aprimorar e adaptar os seus processos, acompanhando as exigências do mercado e da sua concorrência [20].

O TPS defende que se deve fazer o que é necessário, com menos tempo, menos espaço, menos esforço humano, menos máquinas e menos materiais, enquanto se entrega aos clientes o que eles pretendem [19]. Este sistema pode ser representado pela Casa TPS (Figura 2), que se tornou um dos símbolos mais reconhecidos na produção.

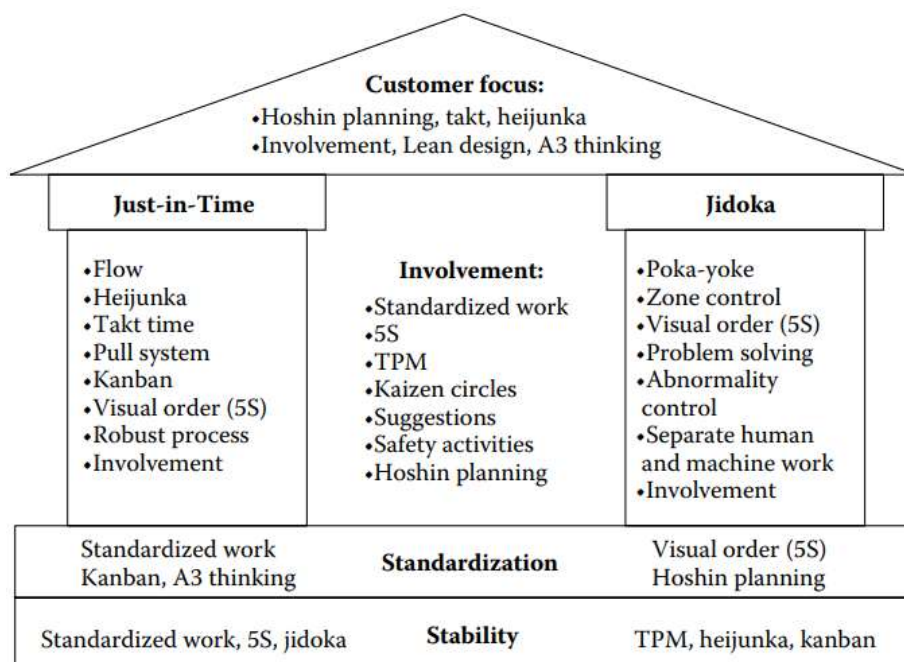


Figura 2 – Casa do TPS [19]

A forma de uma casa foi escolhida porque representa um sistema organizado e bem coordenado [21]. Assim como uma casa, a sua estrutura depende da base, dos pilares e do teto. Isso significa que se um desses elementos for mais vulnerável, a casa não será estável [22].

O cerne do Sistema de Produção Toyota é a melhoria contínua e, para que o sistema funcione, é fundamental que exista flexibilidade, capacidade e motivação das pessoas envolvidas. O TPS é construído sobre uma base de estabilidade e padronização, através de custos reduzidos, elevada

qualidade e *lead times* mais curtos. Assim, é possível eliminar sistematicamente o desperdício. Os dois pilares que garantem o funcionamento deste sistema são o *Just In Time* (JIT) e o *Jidoka* [19].

O conceito básico do JIT é conseguir proporcionar a quantidade necessária no momento adequado [23]. Este conceito atua ao ser puxado pelas necessidades, ao contrário dos sistemas tradicionais que são empurrados.

Como já foi referido, o TPS surgiu após a Segunda Guerra Mundial. No entanto, os seus conceitos fundamentais, o *Just In Time* e o *Jidoka*, têm raízes mais profundas. O fundador da Toyota, Sakichi Toyoda, criou o conceito de *Jidoka* no início do século 20, ao adicionar um dispositivo aos seus teares automáticos que impediam o funcionamento do tear quando um fio se rompia. Isso permitiu diminuir o desperdício e aumentar a produtividade, além de melhorar a qualidade [24].

Esta mudança significativa também mudou a rotina das pessoas, permitindo que elas trabalhassem mais para gerar valor do que simplesmente para monitorizar a qualidade das máquinas, pois essas já possuíam um sistema de paragem inteligente. Essa alteração teve um impacto em toda a linha de produção da Toyota, e foi posteriormente aplicada a todas as linhas de produção e operações da empresa [24].

2.1.2. Princípios *Lean*

A correta implementação do pensamento *Lean* é estabelecida através de cinco princípios [25]:

- 1) Definir o valor;
- 2) Identificar o fluxo de valor;
- 3) Criar um fluxo contínuo;
- 4) Implementar o sistema *pull*;
- 5) Procurar a perfeição.

Para aplicar ferramentas *Lean*, é fundamental identificar as áreas de produtos, processos e rotinas que podem ser melhoradas, para aumentar a competitividade e os lucros. As empresas têm a responsabilidade de definir e identificar quais os pontos a serem intervencionados, lembrando que o valor é definido como o equilíbrio entre as necessidades do cliente final e as especificações do produto [25]. A cadeia de valor é um conjunto de atividades específicas que as empresas aspiram a criar valor e aumentar a competitividade. Esses processos, desde os fornecedores até ao cliente, devem ser aqueles que proporcionam a melhoria da qualidade do produto final, visando oferecer o melhor produto possível ao cliente [26]. Segundo Hines e Taylor [27], essas atividades devem ser classificadas da seguinte forma:

- Atividades que agregam valor: são aquelas que, aos olhos do cliente, tornam o produto ou serviço mais valioso e, por essa razão, devem ser mantidas;
- Atividades que não agregam valor: são aquelas que, aos olhos do cliente, não acrescentam valor ao produto ou serviço e são desnecessárias no processo atual e, por essa razão, devem ser eliminadas o mais rápido possível;
- Atividades necessárias que não agregam valor: são aquelas que, aos olhos do cliente, não acrescentam valor ao produto, mas que são necessárias no processo e, por isso, devem ser otimizadas.

Todas as atividades que não adicionam valor ao processo produtivo são consideradas desperdício e contribuem para um aumento dos tempos e custos de produção, sem gerar valor sob a perspectiva do cliente [27].

A posterior implementação de um fluxo contínuo envolve o ajuste de operações e atividades de forma sequencial e ininterrupta, para reduzir os tempos de espera e o *stock* entre cada atividade. Quando o fluxo é otimizado, a produção torna-se mais eficiente e com menos desperdício, o que conduz a uma melhoria na qualidade do produto final [25].

Um processo produtivo baseado no sistema *pull* funciona do seguinte modo: um processo apenas deverá ter início quando o processo precedente o incitar, mantendo a produção sincronizada com os pedidos dos clientes [25]. Assim, este sistema pretende garantir uma produção sem desperdícios, sendo que, para isso, o material em processamento deve fluir em pequenos lotes [28].

Por fim, o ciclo de pensamento *Lean* termina com o processo de melhoria contínua, que procura aperfeiçoar as 4 etapas anteriores.

É importante identificar o que o cliente valoriza e, de seguida, eliminar aquilo que não contribui para a criação de valor, ou seja, os desperdícios. Dessa forma, o foco concentra-se em oferecer aquilo que realmente importa para o cliente [29].

A Toyota aprimorou o seu sistema de produção enfatizando a eliminação de atividades que não adicionam valor. Estas manifestam-se sob três formas, conhecidas como os 3M's: Muda (desperdício), Mura (inconsistências/irregularidades) e Muri (sobrecarga) [29]. O TPS defende que os 3M's estão profundamente relacionados e que, em conjunto, formam a compreensão japonesa de desperdício [29]. De acordo com Ohno [20], existem sete tipos de desperdício presentes nos sistemas de produção que não acrescentam valor ao produto, e pelos quais o cliente não está disposto a pagar. A Tabela 1 apresenta os sete desperdícios mencionados.

Tabela 1 – Os sete desperdícios (adaptado de [9, 10, 18, 19])

Tipo de desperdício	Definição
Excesso de produção	Acontece quando são produzidos mais produtos do que o planeado. Isso resulta num consumo excessivo de matéria-prima, aumento dos custos de armazenamento do <i>stock</i> e pode levar ao transporte excessivo dos produtos. Alguns exemplos desse tipo de desperdício são produzir para <i>stock</i> com base nas previsões de vendas, aumentar a produção para evitar interrupções e fabricar lotes grandes, ou seja, produzir antes do pedido do cliente ou produzir em excesso.
Inventário	Resultam do excesso de produção e referem-se aos <i>stocks</i> de matéria-prima, produto final e em processamento, ou seja, qualquer material ou produto presente em quantidades acima do necessário e antes do momento adequado. Elevados inventários implicam mais custos para áreas de armazenamento e devem-se, por exemplo, a elevados tempos de <i>setup</i> , operações de retrabalho, atrasos nas entregas das encomendas ou avarias nos equipamentos.
Defeitos	Refere-se a todos os produtos que não cumprem os requisitos do cliente devido a processos ineficientes, problemas de qualidade, falta de qualificação dos operadores ou atrasos na entrega. Isso acontece quando o produto apresenta falhas que impedem o seu uso adequado e exigem retrabalho ou reproprocessamento para a sua recuperação, criando prejuízos financeiros para a empresa devido aos custos com materiais, mão de obra e equipamentos, além de movimentação e transporte desnecessários.

Tipo de desperdício	Definição
Transporte	Inclui o excesso de movimentação de pessoas, materiais e informação, resultando em desperdício de tempo e recursos. O transporte de produtos para <i>stock</i> ou entre postos de trabalho é um exemplo deste tipo de desperdício. Pode ser causado, por exemplo, pela produção de grandes lotes, produção <i>push</i> e <i>layouts</i> inadequados ao processo produtivo.
Movimento	Refere-se às movimentações desnecessárias de trabalhadores, de informação e de documentos. É causada pela desorganização dos postos de trabalho ou por <i>layouts</i> mal estruturados, resultando em tempo perdido na procura de materiais e ferramentas.
Tempo de espera	Diz respeito a longos períodos de inatividades de pessoas, equipamentos, materiais, peças e informação, originando fluxos irregulares e tempos de processamento longos. Isso ocorre quando os recursos ficam parados e impedem o operador de realizar a próxima operação. As esperas podem ser causadas, por exemplo, por falta de matéria-prima, avarias nas máquinas, atrasos nas entregas de encomendas ou processos burocráticos.
Sobre processamento	Inclui atividades adicionais que não acrescentam valor ao produto final e que não são solicitadas pelo cliente. Estas resultam do uso incorreto de equipamentos e ferramentas, tecnologia inadequada, especificações pouco claras do cliente ou qualidade excessiva.

2.1.3. *Lean green*

O conceito de desenvolvimento sustentável, que se refere à satisfação das necessidades da atual geração sem prejudicar a capacidade das futuras gerações atenderem às suas próprias necessidades, tem despertado um interesse crescente desde o final da década de 1980 [31]. Uma empresa sustentável é aquela que contribui para o desenvolvimento sustentável, garantindo simultaneamente o desenvolvimento económico, social e ambiental, conhecido como *Triple Bottom Line* [32]. Este modelo propõe que as empresas utilizem uma métrica de desempenho que inclua uma perspetiva multifacetada, que integra não apenas os aspetos tradicionais, como lucro, retorno sobre o investimento e preço das ações, mas também aspetos ambientais e sociais [33].

Devido ao rápido crescimento da população, os recursos naturais não renováveis estão cada vez mais escassos e caros, o que leva as empresas, governos e organizações a priorizar a implementação de práticas mais sustentáveis [33]. Assim, para alcançar a sustentabilidade, a perspetiva económica, o equilíbrio ambiental e a responsabilidade social são elementos cruciais [34]. Por sua vez, é a sua compatibilidade que permite o crescimento e o desenvolvimento equilibrado da sociedade [35].

A sustentabilidade revela uma preocupação com os efeitos prejudiciais da poluição ambiental, que tem alertado as indústrias e comunidades para a iminente destruição, caso não sejam tomadas medidas antecipadamente [36]. Desse modo, a sustentabilidade ambiental é fundamental para as organizações atuais e deve ser integrada com as suas prioridades de rentabilidade e eficiência [37].

O termo "*green*" é usado no contexto industrial, para se referir à preocupação ambiental das empresas na produção e fornecimento de produtos aos clientes. Tornar-se *green* significa oferecer produtos mais ecológicos e minimizar o impacto ambiental, o que é relevante para desenvolver uma imagem mais sustentável para os clientes, podendo também criar vantagem competitiva para a empresa [38].

As designações *Lean* e *green* geralmente surgem associadas, pois o termo *Lean* significa reduzir o desperdício, o que presumivelmente melhorará a eficiência no uso de recursos e diminuirá o seu

impacto ambiental [39]. Ambas as práticas visam minimizar o desperdício, mas diferem na sua definição. Ao passo que o pensamento *Lean* auxilia na eliminação de atividades que não agregam valor, melhorando o uso dos seus recursos (mão de obra, equipamento, tempo), as práticas *green* são orientadas para minimizar os impactos ambientais negativos da produção [40], ou seja, por exemplo a redução ou eliminação de resíduos ambientais, como o consumo desnecessário de energia, água ou matérias-primas e a libertação de gases e resíduos perigosos para o ambiente [41].

A literatura aponta que as práticas *Lean* e *green* podem trabalhar solidariamente, evidenciando a sua cooperação na redução de resíduos, no consumo de energia, materiais e tempo, na gestão da cadeia de abastecimento e na otimização da cadeia produtiva [5].

2.1.4. Ferramentas *Lean*

Como referido anteriormente, as alterações climáticas, a escassez de recursos naturais e a degradação ambiental são problemas atuais que representam um grande desafio para a humanidade. Para enfrentar esses desafios, as empresas têm procurado implementar estratégias de sustentabilidade ambiental [42].

Nessa perspetiva, *Lean* oferece práticas que podem ser adaptadas para atender às exigências da sustentabilidade e enfrentar os desafios ambientais [42].

Em seguida, são enumeradas as ferramentas *Lean* mais adotadas pelas empresas, para melhorar o seu desempenho ambiental: *5S*, *Kaizen*, *Single Minute Exchange of Die (SMED)*, *Total Productive Maintenance (TPM)* e *Value Stream Mapping (VSM)*.

5S

A ferramenta *5S* é baseada nas iniciais de cinco palavras japonesas: *Seiri*, *Seiton*, *Seison*, *Seiketsu* e *Shitsuke*. Esta é baseada em cinco etapas concretas: separar, arrumar, limpar, normalizar e manter. Promove a organização, limpeza e disciplina através da consciencialização e responsabilidade de todos os funcionários, de modo a tornar o ambiente de trabalho mais agradável, seguro e eficiente [43].

Assim como outras ferramentas *Lean*, a metodologia *5S* é utilizada para identificar e eliminar desperdícios e otimizar os custos no processo produtivo [43]. Nesse contexto, os desperdícios podem incluir *stocks* defeituosos, matérias-primas retidas, gabaritos, mesas e carrinhos desnecessários, ferramentas e acessórios não utilizados e documentação inútil. O objetivo da ferramenta *5S* é utilizar apenas o que é necessário no momento e na quantidade certa, descartando tudo o que for supérfluo [44].

Para iniciar a implementação do *5S*, é necessário fazer uma triagem, na qual os colaboradores organizam e limpam o seu local de trabalho, excluindo os itens desnecessários e distinguindo os que são efetivamente necessários [45]. Após este passo, segue-se a definição de um local para alocar esses objetos, facilitando a sua utilização e procura. De seguida, proporciona-se a limpeza do posto de trabalho. Subsequentemente, são definidos padrões e metodologias para manter as boas práticas e, por fim, confirma-se a realização dos padrões estabelecidos [45].

A ferramenta *5S* permite identificar e reduzir o lixo e os resíduos durante o processo de triagem, o que resulta numa redução significativa da produção de resíduos [45].

Kaizen

O *Kaizen* é um processo fundamental de uma organização *Lean*, cujo objetivo é eliminar todos os tipos de desperdício através da melhoria contínua das operações [42]. Esta ferramenta baseia-se em dois objetivos: promover uma cultura de resolução de problemas com pensamento científico e fundamentado, e envolver trabalhadores de diferentes funções e níveis na organização para trabalharem em conjunto a resolver problemas ou melhorar processos [31, 34].

Para descobrir formas de melhorar o desempenho ambiental, as empresas podem aplicar eventos *Kaizen*. Nesses eventos, uma equipa multidisciplinar é formada para recolher dados e observar as práticas de trabalho, debatendo problemas e questões que afetam o desempenho ambiental da empresa. De seguida, a equipa investiga a causa raiz do problema, recorre a ferramentas *Lean* para evitar que este se repita e ainda identifica possíveis problemas que possam surgir [47].

Os resultados da implementação dessas medidas incluem o envolvimento dos funcionários, a melhoria do ambiente de trabalho e o desenvolvimento de processos mais eficientes que considerem as necessidades dos *stakeholders*. Isso contribui para a redução dos recursos utilizados e do impacto ambiental causado pelo desperdício [47].

Single Minute Exchange of Die

O *Single Minute Exchange of Die* é uma técnica que auxilia as empresas a diminuir os tempos de *setup*, quando a produção é interrompida e outro produto é colocado em produção [43]. A abordagem SMED consiste em transformar atividades internas, que precisam de ser realizadas com a máquina parada, em atividades externas, que podem ser executadas com a máquina em funcionamento. Dessa forma, é possível otimizar o uso das máquinas, trabalhando apenas quando necessário, o que resulta numa redução dos tempos de produção e de inatividade [48].

Numa perspetiva ambiental, a implementação do SMED promove a produção em pequenos lotes, evitando o consumo desnecessário de energia no armazenamento e transporte de grandes quantidades de produtos [45].

Adicionalmente, o SMED contribui para a redução do excesso de produção e dos *stocks*, o que significa um menor consumo de energia e materiais, além de menores emissões de gases poluentes [49].

Total Productive Maintenance

O *Total Productive Maintenance* é uma técnica *Lean* que pretende alcançar a máxima eficiência nos equipamentos de um sistema produtivo. Baseia-se no trabalho em equipa e na manutenção autónoma, para garantir o bom funcionamento dos equipamentos e prolongar a sua vida útil [50]. Esta ferramenta foca-se em seis desperdícios principais que provocam a ineficiência dos equipamentos [50]:

- Avarias;
- Defeitos e retrabalho;
- Paragens;
- Perdas de rendimento;
- Perdas devidas a configurações e afinações dos equipamentos;
- Velocidade reduzida.

A eficiência dos equipamentos é medida pelo indicador *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) [51]. O OEE é composto por três métricas: disponibilidade, eficiência e qualidade. A métrica de disponibilidade é uma comparação entre o tempo em que o equipamento está realmente em funcionamento e o tempo programado para produzir. Esta é calculada dividindo o tempo de produção pelo tempo total disponível para produção. A métrica de eficiência é uma comparação entre a produção real de um equipamento e a produção esperada para o mesmo período. É calculada dividindo o tempo padrão pelo tempo efetivo. Por último, a métrica de qualidade revela a quantidade de itens que atendem às especificações e é obtida dividindo o número de peças conformes pelo número total de peças produzidas. A multiplicação dessas três métricas concretiza o valor do OEE do equipamento [29, 42].

O TPM traz diversos benefícios, como uma maior longevidade dos equipamentos, uma menor necessidade de substituição e uma redução dos impactos ambientais. Isso deve-se à redução de derrames e fugas de óleo e de emissões de gases poluentes para a atmosfera, o que reduz as repercussões ambientais. Outra vantagem do TPM é evitar falhas nos equipamentos que podem gerar sucata e consumo extra de recursos [50].

Além disso, a adequada manutenção dos equipamentos ajuda a diminuir os defeitos de produção, o que pode auxiliar na eliminação do desperdício, de três formas distintas [52]:

- Diminui a quantidade de produtos que precisam de ser descartados;
- Elimina as matérias-primas, a energia e os resíduos resultantes associados à sucata;
- Diminui a quantidade de energia, matérias-primas e resíduos que são utilizados ou produzidos, para corrigir produtos defeituosos que carecem de retrabalho.

Value Stream Mapping

O *Value Stream Mapping* (VSM) é uma técnica de produção *Lean* que permite visualizar e compreender os processos, através da representação gráfica do fluxo de material e informação, desde os fornecedores de matérias-primas até à entrega do produto final ao cliente. O objetivo do VSM é identificar as fontes de desperdício de um processo produtivo, servindo como uma ferramenta para caracterizar e analisar a situação atual da empresa, identificar os problemas e as suas causas, e definir o estado desejado [53].

O VSM pode ser utilizado para controlar, de forma detalhada, as entradas, saídas e fluxo de informação referente ao uso de energia, água e materiais, permitindo comparar a taxa de utilização dos recursos em relação à necessidade de cada processo, e analisar o fluxo de resíduos ambientais e o fluxo de informação para as entidades competentes [41]. Assim, o VSM permite identificar operações desnecessárias e oportunidades de poupar energia, água e matérias-primas, o que reduz custos, otimiza a cadeia de produção e contribui para um bom desempenho ambiental.

Exemplos práticos

Na Tabela 2 surge uma síntese de casos de estudo que implementam práticas *Lean green* em diferentes contextos.

Tabela 2 – Aplicação de práticas *Lean green*

Referência	Caso de estudo
[39]	A aplicabilidade da integração de práticas <i>Lean green</i> foi demonstrada através do estudo de uma empresa de fabrico de peças metálicas por estampagem. Na metodologia utilizada, os indicadores de desempenho ambiental da empresa foram a eficiência do valor de carbono e a pegada de carbono. Os resultados mostram que a implementação de práticas <i>Lean green</i> resultou numa redução de 64,7% no <i>lead time</i> , o que levou a uma melhoria de 36,3% na eficiência do valor de carbono e uma redução de 29,9% na pegada de carbono. Estes resultados indicam que as empresas podem alcançar benefícios quantitativos ao integrar e implementar práticas <i>Lean green</i> .
[42]	O impacto de cinco ferramentas <i>Lean</i> (JIT, <i>jidoka</i> , <i>Kaizen</i> , TPM e VSM) foi analisado em relação a quatro indicadores de desempenho ambiental: quantidade de material utilizado, consumo de energia, <i>outputs</i> não relacionados ao produto e emissões de gases poluentes. Os resultados mostram que o TPM e o JIT são as práticas <i>Lean</i> que têm maior influência no desempenho ambiental das organizações, pois a sua implementação resultou em efeitos positivos em todos os indicadores avaliados. A adoção de uma cultura <i>Kaizen</i> resultou em efeitos positivos apenas na quantidade de material utilizado e nas emissões de gases poluentes. Por outro lado, a implementação de <i>jidoka</i> e do VSM não foi associada a melhorias no desempenho ambiental.
[45]	O caso estudo demonstra as vantagens da implementação de práticas <i>Lean</i> , como 5S, <i>kanban</i> , SMED, manutenção autónoma, células de produção e controlo de qualidade, no desempenho ambiental da empresa. Os resultados confirmam que essas práticas têm um efeito muito benéfico no meio ambiente em termos de uso eficiente de recursos como a água, energia e matérias-primas.
[46]	Os autores propõem um modelo <i>Lean green</i> que fornece evidências da compatibilidade entre essas práticas. O caso demonstra que a aplicação da filosofia <i>Kaizen</i> numa célula produtiva pode reduzir o uso de recursos de 30 a 50% e tem potencial para diminuir os custos totais em 5 a 10% no fluxo de massa e energia.
[54]	O caso de estudo relaciona algumas práticas <i>Lean</i> com medidas ambientais específicas. Os resultados indicam que o JIT e o <i>Total Quality Management</i> (TQM) são as ferramentas mais comumente usadas para avaliar a relação com o desempenho ambiental. Além disso, argumentam que o VSM e <i>Kaizen</i> são as práticas que têm maior influência nas medidas ambientais, particularmente em emissões atmosféricas, consumo de energia, produção de resíduos sólidos, consumo de materiais, uso de produtos químicos perigosos e poupança de dinheiro.
[55]	Este estudo investiga a complementaridade entre práticas <i>Lean</i> e <i>green</i> através da obtenção e análise de dados de uma amostra de 182 empresas americanas. Os resultados mostram que a utilização simultânea de práticas <i>Lean</i> e <i>green</i> não só aumenta o desempenho operacional, como também melhora significativamente o desempenho ambiental das empresas em análise.

Em contrapartida, existem autores de defendem que as práticas *Lean* e *green* não são compatíveis em todas as áreas, havendo alguns casos em que a sua conjugação pode suscitar problemas [5]. A Tabela 3 contempla esses registos.

Tabela 3 – Incompatibilidade de práticas *Lean green*

Referência	Caso de estudo
[39]	Conclui que a abordagem integrada de práticas <i>Lean</i> e <i>green</i> envolve investimentos consideráveis e que não é viável em situações em que há recursos limitados.
[5]	Os autores afirmam que o foco na produção em pequenos lotes, fruto da resposta às exigências dos clientes, aumenta a utilização de transportes e embalagens, promovendo um abastecimento mais intenso. Isso implica maiores emissões de gases e maior produção de resíduos.

Referência	Caso de estudo
[56]	Os autores reconhecem que, para obter resultados positivos com a implementação simultânea de práticas <i>Lean</i> e <i>green</i> , geralmente é necessário personalizar o perfil operacional das empresas e garantir o envolvimento dos fornecedores.
[57]	Os autores sugerem que a gestão <i>Lean</i> e a redução das emissões atmosféricas de compostos orgânicos voláteis estão negativamente associadas, pois embora as práticas <i>Lean</i> contribuam para um uso mais eficiente de tintas e solventes de limpeza, as alterações implementadas não são suficientes para cumprir os regulamentos ambientais.
[58]	Os autores consideram que existem algumas áreas em que as práticas <i>Lean</i> e <i>green</i> não podem ser combinadas, e que ainda existem algumas limitações quando se considera o <i>Lean green</i> como uma abordagem integrada.

Com a análise dos recursos bibliográficos apresentados, é possível afirmar que a maioria dos autores converge na ideia de compatibilidade dos conceitos *Lean* e *green*, nomeadamente na redução de desperdícios. No entanto, apesar da defesa dos benefícios desta relação ser maioritária, este pensamento não é consensual, nomeadamente em contextos de produção em pequenos lotes e emissões de gases poluentes.

2.2. Economia Circular

A Economia Circular é baseada num modelo de gestão de recursos dos ecossistemas naturais, que procura manter a sustentabilidade a longo prazo através de um ciclo contínuo de regeneração [59]. O conceito foi introduzido pela primeira vez na Dinamarca, nos anos 90, em parques eco industriais, e desde então tem sido implementada com sucesso por diversas indústrias [50, 51]. Foi desenvolvida como resposta à preocupação da sociedade com a rapidez e a forma como os recursos estavam a ser consumidos, tendo em consideração o crescimento da população mundial e a maior disponibilidade de recursos financeiros para uma parcela crescente da população [59].

2.2.1. Definição

A Economia Circular é um modelo sistémico que procura minimizar a entrada de recursos, resíduos e emissões de gases, através da otimização, fecho e controlo de fluxos de energia e materiais [52, 53]. Prioriza o uso de energia limpa e renovável, e é baseada numa abordagem de reformulação de processos e modelos, que visa maximizar o uso dos recursos [50, 54].

De acordo com a fundação *Ellen MacArthur*, os três princípios da Economia Circular são [61]:

- 1) Preservação e valorização do capital natural, controlo dos *stocks* finitos e equilíbrio dos fluxos e recursos renováveis;
- 2) Maximização do valor dos recursos através da produção de produtos, componentes e materiais com maior utilidade e maior vida útil possível;
- 3) Promoção da eficácia dos sistemas através da identificação e eliminação das externalidades negativas à entrada.

O conceito de Economia Circular é principalmente abordado sob uma perspetiva económica e política, e a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente continua a ser uma importante preocupação. Assim, a Economia Circular deve ser avaliada segundo três perspetivas: económica, ambiental e social. Isso inclui a promoção de uma forte *performance* económica, a preservação de recursos naturais e do meio ambiente, e a garantia de um modelo social justo e inclusivo [50, 55].

2.2.2. Estratégias da Economia Circular

Deste modo, existem várias estratégias que as empresas podem adotar de forma a conseguirem prolongar o valor do produto durante o maior período possível [65]. A Tabela 4 apresenta as estratégias de Economia Circular, de acordo com alguns autores.

Tabela 4 – Estratégias da Economia Circular [50, 56, 57]

Estratégia	Descrição	
Produção e utilização inteligente	Recusar	Substituir a utilidade atual do produto ou proporcionar a mesma função com outro item.
	Repensar	Aumentar a utilização do produto.
	Reduzir	Promover a eficiência na produção/utilização, reduzindo o consumo de recursos e matérias-primas naturais.
Aplicações úteis de materiais	Reciclar	Reciclar materiais para obter o mesmo tipo de material, com qualidade equivalente ou inferior.
	Valorizar	Recuperação de energia de materiais.
Prolongar a vida útil de produtos e dos seus componentes	Reutilizar	Através de outro consumidor/usuário, recuperar o uso do produto descartado que esteja em boas condições e ainda possa desempenhar a sua função original.
	Reparar	Realizar reparos e manutenção num produto com defeito para que possa continuar a ser utilizado na sua função original.
	Recondicionar	Reutilizar um produto antigo, renovando-o e atualizando-o.
	Remanufaturar	Usar peças ou componentes de um produto descartado para um novo que cumpra a mesma função.
Realocar	Reutilizar o produto descartado (ou as suas partes) num novo item, com uma função diferente.	

O propósito da implementação da Economia Circular é promover a eco eficácia, através do desenvolvimento de novos produtos com um tempo de vida longo. Ou seja, quando estes produtos atingem o fim da sua vida útil, em detrimento de se tornarem um desperdício, devem decompor-se para criar novos itens e ser novamente incluídos num ciclo industrial [68].

Assim, a Economia Circular consiste numa economia industrial orientada para a sustentabilidade. O seu grande objetivo é recuperar o valor de bens tangíveis, através de ciclos fechados e, idealmente, contínuos.

2.2.3. Vantagens e condicionantes

As principais vantagens da Economia Circular são as seguintes [50, 56]:

- Fomentar a inovação ambiental;
- Economizar recursos e gerir os resíduos;
- Minimizar os desperdícios;
- Criar oportunidades de negócio, produtos e serviços;
- Prolongar a vida útil dos produtos;
- Explorar novos modelos de negócio;
- Melhorar o desempenho financeiro;
- Aumentar a diferenciação competitiva e fortalecer a cultura empresarial;

- Ampliar as competências das empresas;
- Diminuir a dependência de combustíveis fósseis;
- Reduzir as emissões de carbono;
- Preservar a natureza;
- Contribuir para o combate às alterações climáticas.

No entanto, a implementação da Economia Circular na União Europeia também enfrenta diversos obstáculos. Algumas dessas barreiras incluem [60, 61]:

- Falta de competências e investimento;
- Ineficácia dos preços atuais dos recursos em refletir seu verdadeiro valor, o que impede o mercado de procurar alternativas que promovam a eficiência no uso dos recursos, mitigação da poluição e inovação;
- Falta de incentivos políticos;
- Má gestão de infraestruturas e cadeias de abastecimento;
- Insuficiência de separação de resíduos na fonte;
- Aversão ao risco;
- Falta de aceitação por parte das instituições públicas para a estratégia de compras públicas sustentáveis.

2.2.4. Economia Verde

A Economia Circular é uma das componentes que integram a Economia Verde e está associada à eficiência do uso dos recursos naturais [71]. A Economia Verde é um modelo de crescimento para operacionalizar o desenvolvimento sustentável e está assente em três dimensões de ação: uma economia de baixo carbono, eficiente na utilização de recursos e socialmente inclusiva [65].

A Economia Circular é considerada um "novo motor de crescimento" e tem o potencial de gerar empregos [65]. É considerada uma estratégia vital para a erradicação da pobreza e para o desenvolvimento económico, social e ambiental. Estes objetivos são comuns com os alcançados pela Agenda 2030 das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável [72].

De acordo com a Comissão Europeia, a Economia Circular é explicada como uma economia onde o valor dos produtos, materiais e recursos é mantido na economia durante o máximo de tempo possível, e a geração de resíduos é minimizada. Este conceito enquadra-se com as agendas da União Europeia e das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável [73].

Assim, a circularidade dos produtos permite obter uma economia mais verde, visto que contribui para uma maior eficiência na forma como os recursos são utilizados. Deste modo, há uma diminuição das emissões de dióxido de carbono, através da redução das extrações de materiais do solo e do seu transporte [65].

2.3. *Lean green* e Economia Circular

Durante a última década, os conceitos e objetivos da Economia Circular têm sido cada vez mais detalhados e tornaram-se questões estratégicas de carácter internacional, europeu e de políticas

nacionais. No entanto, a transição para modelos de produção circular continua a ser afetada por várias barreiras e fatores críticos, que tornam esta transição difícil de realizar [1].

Diversas pesquisas indicam que o *Lean* está apenas indiretamente relacionado com a sustentabilidade, uma vez que as suas principais preocupações não estão centradas nas questões ambientais e sociais. Da mesma forma, a Economia Circular prioriza sistemas económicos que proporcionam benefícios primários para o meio ambiente, com impactos sociais secundários. Por conseguinte, a gestão *Lean* e a Economia Circular têm abordagens distintas em relação aos seus principais elementos comuns, que envolvem a eliminação de resíduos e a criação de valor [1].

A implementação dos princípios de sustentabilidade, conforme alcançado pela ONU, é crucial nas operações de produção. Isso requer que os gestores de produção adotem novos procedimentos e métodos para aumentar a eficiência dos recursos e a sustentabilidade global. Uma ferramenta eficaz para alcançar esse objetivo é o *Green Performance Map* (Mapa de Desempenho Verde), utilizado com sucesso na indústria de produção farmacêutica. Esta ferramenta incentiva a participação dos gestores e operadores do chão de fábrica no *green Kaizen*, e mostra o valor da integração do modelo de hierarquia de resíduos, promovendo uma Economia Circular [7].

A melhoria da eficiência dos recursos e do comportamento ambiental global é alcançada através da priorização e implementação de melhorias ambientais identificadas pela equipa do chão de fábrica, que incluem subir uma ou mais etapas na hierarquia de resíduos. A pesquisa obtida pelos autores contribui para sustentar a integração de teorias *Lean green* com a Economia Circular, no contexto da produção. A nível da gestão, a pesquisa apresenta uma forma concreta de como a circularidade pode ser aprimorada no chão de fábrica [7].

Por outro lado, as análises da relação entre a produção *Lean*, a produção sustentável e a Indústria 4.0 evidenciam a necessidade de adotar metodologias *Lean* com tecnologias industriais para o desenvolvimento das empresas. Seguindo uma visão holística, os autores resumem os princípios e fórmulas de produção que, embora independentes, conduzem a resultados semelhantes e, por conseguinte, representam os pilares de um negócio competitivo e sustentável [1].

Atender às preocupações ambientais e à eficiência de recursos no processo de produção humana é fundamental para uma gestão eficaz da produção. Para isso, os fabricantes devem encontrar novos procedimentos ou metodologias de trabalho para aumentar a eficiência dos recursos e a compatibilidade ambiental dos processos de produção [8]. A produção *Lean green* e a Economia Circular são métodos promissores para alcançar esse objetivo.

Em comparação com a gestão *Lean green*, a implementação de uma Economia Circular nas operações de produção revela-se pouco clara [8]. Vários autores sugerem a combinação destes conceitos para colmatar essa lacuna, no entanto, ainda não foram desenvolvidos modelos sistemáticos.

Alguns autores propuseram um método integrado de soluções *Lean green* e Economia Circular, aplicado em operações da produção através da melhoria contínua, aprimorando os aspetos ambientais e de desempenho dos recursos. O método Economia Circular integrada na produção – *Circular Economy Embedded Production* (CEEP) baseia-se no princípio da melhoria contínua e consiste em três fases sucessivas para alcançar uma gestão de ciclo fechado e melhorias ambientais no processo de produção. Estas podem não só ajudar os gestores a identificar plenamente as oportunidades de melhoria, mas também fornecer orientações de melhoria através da introdução

de quatro quadrantes estratégicos [8]. A eficácia e prática desse método proposto são comprovadas, considerando o caso de uma oficina de montagem automóvel. O estudo proposto suporta a melhoria dos conhecimentos teóricos relativos aos conceitos de *Lean green* e Economia Circular, e demonstra a implementação de uma Economia Circular no processo de otimização da operação de produção das empresas transformadoras [8].

Consequentemente, considerando os requisitos de sustentabilidade, os fabricantes devem investigar ativamente técnicas para explorar as vantagens de conceitos ou tecnologias tais como: Economia Circular, Indústria 4.0 e produção *Lean green*, de modo a otimizar a produção de uma forma ecológica. Contudo, os gestores devem primeiro compreender que não se espera que a adoção destas aplicações acarrete custos considerados erráveis associados à introdução de tecnologias de ponta, e em vez disso, é necessária uma mudança de pensamento e gestão. Em segundo lugar, a combinação dos conceitos relacionados com Economia Circular e *Lean green* indica que os dois conceitos são compatíveis; tais resultados podem também influenciar positivamente a sustentabilidade da produção [8].

Finalmente, casos práticos mostram que o método CEEP é uma forma inovadora de implementar o conceito de Economia Circular em operações de produção e é um novo conceito para operações sustentáveis. O método CEEP é conveniente e eficaz no contexto das indústrias transformadoras e pode fornecer aos decisores estratégias reais e viáveis para otimizar a produção, o que pode facilitar a transição para a Economia Circular pelas empresas [8].

2.4. Roadmap

Como apoio ao processo de planeamento e gestão da inovação, as empresas têm investido em ferramentas de inovação, apoiadas por uma abordagem definida como *roadmapping*. Para alguns autores, os *roadmaps* são uma técnica poderosa e versátil para a gestão e planeamento, sobretudo quando se trata de explorar a união ativa entre os recursos tecnológicos e os objetivos da organização, permitindo criar visões que contribuem para a elaboração de ações a curto, médio e longo prazo [74].

A partir desse conceito, Lee e Park salientam que os *roadmaps* são planos definidos com as perspetivas de um grupo sobre como alcançar um determinado objetivo [75].

Um *roadmap* aborda o modo como as atividades são organizadas, o envolvimento dos participantes, o fluxo de informações, as ferramentas utilizadas e o ambiente organizacional envolvido. Ou seja, é uma ferramenta de planeamento que ajuda as organizações a alinhar os seus objetivos estratégicos com ações práticas e recursos disponíveis [76]. Habitualmente, um *roadmap* é representado graficamente e inclui referências temporais, objetivos, atividades, recursos e responsabilidades. Ele fornece uma visão clara das etapas necessárias para atingir metas específicas e ajuda a comunicar a estratégia de forma eficaz para todas as partes interessadas [76].

Comumente, os *roadmaps* são aplicados nas áreas da ciência, tecnologia e estratégia corporativa. Trata-se de um conceito que pode ser aplicado a uma vasta gama de situações, mas são particularmente úteis na análise das lacunas entre os resultados esperados e os desejados no futuro. Uma vez identificadas essas lacunas, podem ser propostas ações e recomendações que preencham essas falhas [77].

De acordo com outros autores, um dos principais benefícios desta abordagem é a comunicação associada ao desenvolvimento e à divulgação de *roadmaps*. Os autores defendem que os gráficos visuais construídos através de uma linha temporal permitem que as diversas funções e perspectivas possam ser alinhadas dentro de uma organização, e promovem a reflexão para a resolução de três questões fundamentais: “Onde queremos ir? Onde estamos agora? Como podemos chegar lá?”. A estrutura de um roadmap é flexível e o processo utilizado para desenvolvê-lo pode ser adaptado para se adequar a diversos contextos estratégicos e de inovação [78].

Uma perspectiva da construção de um *roadmap* pode ser resumida em quatro conceitos [79]:

- 1) Explorar: Esta fase visa criar a maior quantidade possível de ideias relevantes. Um desenvolvimento sólido de inteligência comercial e tecnológica, alinhado à visão e ao propósito do negócio, é fundamental para identificar, compreender e avaliar oportunidades e ameaças no ambiente externo;
- 2) Criar: Aqui, são estabelecidas opções de produto/mercado/tecnologia, desenvolvendo novas ideias e conceitos de inovação. Além disso, esta etapa visa identificar as ideias mais relevantes para a perspectiva da empresa;
- 3) Formatar: Nesta fase, são analisadas as oportunidades em relação às limitações do negócio. São estimados os recursos necessários para concretizar os conceitos de inovação, conduzindo à elaboração de um plano de negócio claro para avançar (ou não) com o conceito de inovação como uma proposição de negócio;
- 4) Implementar: Esta etapa abrange o planejamento detalhado e a validação do plano de negócio, o desenvolvimento das competências comerciais e o financiamento.

O *roadmap* pode ser personalizado devido à sua grande flexibilidade, podendo ter níveis e subníveis adaptados a cada caso em particular; o formato gráfico é selecionado de acordo com a informação que se deseja comunicar e pode ainda ter em consideração o conjunto de processos já existentes na organização, ferramentas e fontes de informação [80].

3. MÉTODOS E APLICAÇÃO

O tratamento adequado das águas residuais industriais é uma preocupação essencial para empresas responsáveis e comprometidas com a sustentabilidade ambiental. À medida que as indústrias crescem e evoluem, o volume e a complexidade das águas residuais produzidas aumentam, tornando imprescindível o desenvolvimento de estratégias eficazes para o seu tratamento e descarte responsável.

Este capítulo apresenta uma metodologia abrangente e inovadora para o desenvolvimento de um *roadmap* para a melhoria de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais (ETARI). Por meio da aplicação desta metodologia, empresas de diversos setores poderão enfrentar os desafios associados ao tratamento de efluentes industriais, garantindo a conformidade com as regulamentações ambientais, a redução do impacto negativo no ecossistema e o fomento à responsabilidade social corporativa.

A metodologia proposta visa, assim, promover uma abordagem holística e efetiva para o desenvolvimento sustentável das Estações de Tratamento de Águas Residuais Industriais, contribuindo para a promoção da qualidade ambiental e do bem-estar das comunidades atendidas.

3.1. Caracterização dos processos da ETARI

A Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais visa o tratamento dos efluentes industriais provenientes das várias fábricas e complexos que incorporam as instalações da Toyota Caetano Portugal em Ovar, assegurando o cumprimento legal ao longo de todo o processo e a minimização dos efeitos negativos causados pela descarga de águas residuais.

Para ser possível efetuar este estudo, é necessário compreender os processos envolventes no contexto específico desta ETARI. Assim, inicialmente foi realizada uma análise abrangente do processo de tratamento de águas existente. Para isso, foi essencial perceber detalhadamente todas as etapas e características que constituem o tratamento do efluente. A Figura 3 reflete a sequência de processos que o efluente segue ao longo do seu tratamento.

O processo de tratamento do efluente industrial contempla separadamente o tratamento da fase líquida e da fase sólida.

A fase líquida inicia-se com a gradagem mecânica. Esta retém os sólidos mais grosseiros (gradados) através de uma grelha e previne interferências nas etapas de tratamento posteriores, evitando também o desgaste dos equipamentos. Os gradados são encaminhados como resíduo.

De seguida, no tanque de homogeneização, o objetivo é uniformizar os caudais, concentrações e características do efluente. Para estabilizar o valor do pH, são adicionados automaticamente produtos químicos através de uma sonda de pH. Assim, é possível garantir uma alimentação contínua às etapas seguintes, bem como o devido arejamento do efluente e controlo do pH. Ao longo deste processo existe acumulação de sólidos mais densos (lamas) que são encaminhados para o tanque de lamas, seguindo o tratamento da fase sólida.

Na etapa seguinte (flotação) é adicionado um floculante ao efluente, que permite agregar os sólidos em suspensão, formando pequenos flocos. À medida que se formam flocos, estes vão ganhando consistência e, conseqüentemente, depositando. Os sólidos depositados (lamas) são encaminhados

para o tanque de lamas, seguindo o restante tratamento da fase sólida. Ocorre a separação entre a fase sólida e a fase líquida, criando a clarificação do efluente. A flotação contempla ainda uma unidade de raspagem, que possibilita a remoção das partículas que permanecem à superfície, nomeadamente gordura.

Após a flotação/decantação, o efluente clarificado é encaminhado para o tanque de acumulação, que funciona apenas como depósito de armazenamento do efluente, a fim de regular o caudal de entrada no filtro de areia. Caso a qualidade do efluente não seja a pretendida, é possível enviar o efluente para o início do tratamento, isto é, para o tanque de homogeneização.

Existem pequenas partículas que permanecem em suspensão por não terem densidade suficiente para sedimentar, nomeadamente pequenos flocos da floculação (sólidos suspensos) que são arrastados com o efluente. Assim, a ETARI está equipada com um filtro de areia que retém estes sólidos.

A filtração conseguida através do filtro de areia não permite uma redução significativa da quantidade de matéria orgânica, razão pela qual se encontra instalado um filtro de carvão ativado após esta etapa. O carvão ativado atua por adsorção de compostos e é eficaz na remoção de matéria orgânica dissolvida no efluente que provoca cor, cheiro e toxicidade.

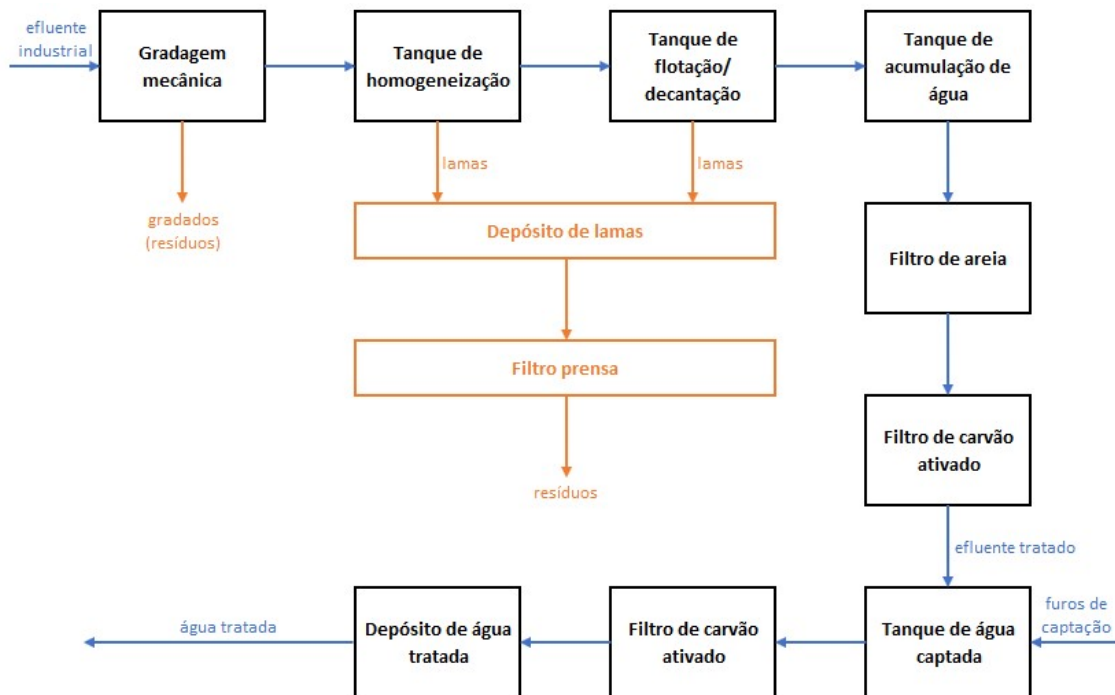


Figura 3 – Esquema do processo de tratamento na ETARI

No final da filtração, o efluente tratado, em cumprimento com os requisitos legais impostos, é encaminhado para o tanque de água captada para que este seja reaproveitado.

Nesse tanque, o efluente tratado é submetido ao mesmo tratamento da água captada pelos furos de captação. É feita a adição dos produtos de tratamento, nomeadamente hidróxido de sódio e o hipoclorito de sódio, que permitem a desinfecção da água e o controlo do pH.

Após a captação e desinfecção da água captada, esta passa por um filtro de carvão ativado, constituído por um leito misto de carvão ativado e areia. O carvão ativado atua por adsorção sendo eficaz na remoção dos metais precipitados e do cloro.

Do filtro, a água é encaminhada para os dois depósitos de água tratada. Estes depósitos têm como objetivo acumular a água tratada para abastecer as fábricas e a ETARI, também é regulada a quantidade de cloro livre em água e medida a condutividade da água.

O tratamento da fase sólida inicia-se no depósito de lamas, onde é promovida a sua agitação para preparar a fase seguinte. Quando for evidente a diferença entre o efluente e as lamas, o efluente é aspirado e encaminhado para o tanque de homogeneização, para que inicie novamente o processo de tratamento.

A partir do depósito de lamas, as lamas são injetadas, por bombagem, para o filtro prensa. Esta etapa promove a desidratação das lamas, reduzindo o seu volume e teor de humidade. Quando é verificado que a prensa se encontra cheia é necessário descarregar a lama seca que ficou prensada. No final, estas são encaminhadas como resíduo.

Adicionalmente, são efetuadas monitorizações periódicas do efluente da ETARI e da água tratada, de modo a controlar os parâmetros de avaliação da sua qualidade.

3.2. Processo de *roadmapping*

Após considerar todos os fatores, e de acordo com a revisão da literatura apresentada e outros estudos relevantes [72–80], foi criada a seguinte metodologia para aplicação específica no contexto da ETARI da Toyota Caetano Portugal:

- 1) Avaliação inicial e diagnóstico;
- 2) Estabelecimento de objetivos;
- 3) Definição de ações específicas;
- 4) Alocação de recursos;
- 5) Implementação e controlo;
- 6) Comunicação;
- 7) Avaliação contínua.

De seguida são detalhados os diversos pontos incorporados na metodologia acima apresentada.

3.2.1. Avaliação inicial e diagnóstico

Esta fase envolve a recolha de dados, análise de processos existentes e identificação de problemas ou áreas que carecem de melhorias.

Uma vez compreendidos os processos que constituem o funcionamento da ETARI, foram recolhidas algumas informações que fornecem uma visão acerca do cumprimento ou incumprimento de objetivos e limites impostos pela empresa. Mais concretamente, foram encontrados e analisados os valores mensais do último ano para alguns Indicadores de Desempenho – *Key Performance Indicator* (KPI) – relevantes. A Tabela 5 apresenta esses valores organizados de forma simples e objetiva.

Tabela 5 – Indicadores de desempenho

KPI	Consumo de energia	Emissões de CO ₂	Consumo de água potável	Consumo de água industrial	Volume total de resíduos*	Emissões de COVs
Unidades	kWh/unidade	kg/unidade	m ³ /colaborador	m ³ /unidade	kg/unidade	g/m ²
Objetivo	≤2382	≤302	≤0,37	≤5,50	≤25,00	≤43,00
jan	4037	543	0,38	14,55	0,13	56,07
fev	2458	351	0,35	7,08	4,00	41,67
mar	2089	310	0,40	4,95	3,78	40,33
abr	2155	296	1,15	5,43	5,32	39,01
mai	1908	259	1,33	7,08	4,97	42,47
jun	1693	215	1,19	7,18	4,67	38,60
jul	1716	190	1,30	6,46	5,14	36,20
ago	3212	310	0,51	17,78	4,91	35,63
set	1666	215	1,23	5,15	4,66	37,86
out	1786	232	1,00	3,28	5,09	39,85
nov	1811	254	1,09	4,00	4,94	37,50
dez	2016	269	0,77	3,65	5,02	38,04
Média mensal	2212	287	0,89	7,22	4,39	40,27

* O volume total de resíduos apresentado refere-se aos resíduos não valorizáveis.

Nota: O termo unidade significa que é o valor por cada unidade produzida (veículo).

A tabela acima identifica os diferentes KPI's, as unidades em que se exprimem, bem como o objetivo estabelecido pela empresa. Depois, segue-se o valor de cada indicador correspondente aos 12 meses do ano 2022 e também a respetiva média.

O consumo de energia, em média, cumpre o objetivo estabelecido, no entanto falha em 3 meses. Assim pode identificar-se um elevado consumo de energia.

Em relação às emissões de CO₂, nem sempre o objetivo foi atingido e, mesmo quando isso se verificou, os valores não se encontram muito distantes do limite. É necessário atuar sobre esta área, de modo que as emissões sejam reduzidas.

Já o consumo de água potável é preocupante. Apesar de toda a água tratada pela ETARI ser reaproveitada para as fábricas, estes dados demonstram que o seu consumo é excessivo durante praticamente todo o ano.

No que concerne ao consumo de água industrial, este revela-se acima do pretendido. É de notar que a origem da maior quantidade de efluente a tratar provém do setor da pintura. Assim, existe a preocupação em encontrar uma alternativa para este cenário.

O volume total de resíduos engloba os resíduos perigosos (com custo e não valorizáveis) e resíduos não perigosos (sem custo e não valorizáveis). É habitual esse volume compreender maioritariamente resíduos perigosos (lamas) e, apesar de não demonstrar problemas relativamente ao seu objetivo, estes resíduos são enviados para aterros sanitários apropriados. Este é um procedimento indesejável que não se coaduna com as melhores práticas ambientais e com a desejável preservação do meio ambiente, sendo por isso reprovável. Assim, é imperativo encontrar uma forma ou um local em que as lamas possam ser valorizadas.

Por último, as emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) não são alarmantes quanto aos valores apresentados. Por outro lado, essas emissões são uma preocupação ambiental significativa, pois podem contribuir para a poluição do ar e serem precursoras da formação de ozônio troposférico e partículas finas, que são prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Portanto, a monitorização e a redução das emissões de COVs são importantes para a qualidade do ar e para a sustentabilidade ambiental.

No que diz respeito a procedimentos da ETARI, também foram identificados alguns pontos de melhoria como, por exemplo, o uso de produtos químicos constituir um perigo de contaminação dos solos.

Para avaliar a qualidade da água, uma empresa externa recolhe amostras e efetua análises recorrentes para garantir que tudo está em conformidade. No entanto, parâmetros como pH, condutividade, cor, entre outros são diariamente avaliados por um colaborador. Atualmente o colaborador desloca-se diariamente até às instalações da ETARI, regista fotograficamente os parâmetros a controlar e efetua as regulações necessárias dos reagentes para que os tratamentos prossigam adequadamente. Ou seja, essas informações não são facilmente acedidas e analisadas para garantir o seu controlo, o que dificulta a melhoria e acompanhamento do processo. Caso ocorra alguma irregularidade, os processos vão parar, mas o colaborador apenas vai ter acesso a essa informação quando se deslocar até à ETARI (esse momento tanto pode ocorrer no próprio dia como na semana seguinte, uma vez que apenas nos dias úteis é realizado esse controlo). É imperativo alterar este sistema de registo de informação.

3.2.2. Estabelecimento de objetivos

Com base nos problemas identificados previamente, foram definidos objetivos para a sua sustentabilidade corporativa:

- 1) Aumentar a eficiência energética;
- 2) Reduzir as emissões de CO₂;
- 3) Diminuir o consumo de água;
- 4) Garantir um bom encaminhamento dos resíduos;
- 5) Diminuir as emissões de COVs;
- 6) Reduzir o perigo de contaminação dos solos;
- 7) Tornar o processo de registo de informação mais eficiente/automatizado.

3.2.3. Definição de ações específicas

Nesta fase devem ser identificadas e priorizadas as estratégias a implementar para alcançar as metas estabelecidas. Assim, para cada objetivo definido serão explicitadas as ações e estratégias a implementar.

Para promover a eficiência energética, a equipa de manutenção deve garantir uma manutenção adequada de todos os equipamentos, para que não haja fugas. Adicionalmente, deverá identificar se a eficiência dos equipamentos é adequada.

Nos casos necessários, estes (bombas, motores, contadores, válvulas) devem ser substituídos por modelos mais eficazes e inovadores.

Para que o consumo de água diminua por parte dos colaboradores, devem ser realizadas ações de sensibilização regulares. Podem também ser criados incentivos para os colaboradores que poupem (mais) água.

Para diminuir o consumo de água industrial é necessário proceder a alterações do processo de pintura. Atualmente são utilizadas tintas de base solvente, que são mais prejudiciais para o ambiente e para a saúde humana. Estas tintas contaminam excessivamente a água que segue para tratamento, dificultando o mesmo e dando origem a mais resíduos perigosos. Desse modo, esta tinta deveria ser substituída por uma tinta de base aquosa. Pode realizar-se também uma manutenção de verificação de fugas, evitando desperdícios desnecessários.

Para reduzir as emissões de dióxido de carbono, é essencial minimizar o uso de produtos químicos e melhorar a qualidade de efluente a tratar. Ambas as ações estão dependentes maioritariamente de alterações ao processo de pintura. Melhorar a eficiência energética também contribui para alcançar este objetivo.

Para garantir um bom encaminhamento dos resíduos (caso sejam considerados perigosos devem ser tratados previamente), podem ser aplicadas três estratégias diferentes que promovem a economia circular:

- Incorporar resíduos industriais em composições cerâmicas. Foi realizado um estudo em 2005 em colaboração com a empresa cerâmica ATCEL (A Tijoleira Central de Estarreja, Lda.) com resultados bastante positivos, sendo que a incorporação dos resíduos não provocou qualquer interferência negativa significativa nas características e propriedades dos produtos produzidos [83];
- Incorporar as lamas no processo de fabrico de argila expandida. Em 2008, na fábrica da empresa Maxit – Tecnologias para a Construção, Reabilitação e Ambiente, S. A. situada em Avelar, foi realizado um ensaio que teve por objetivo avaliar, dos pontos de vista técnico e ambiental a possibilidade de incorporar este tipo de lamas no processo produtivo de fabricação de argila expandida. Daí concluiu-se que a incorporação de 10% de lamas da ETARI no fabrico dos agregados conduziu à obtenção de um produto com características semelhantes às do produto normal, permanecendo um material completamente inerte e, não promovendo alterações negativas no ciclo produtivo [84];
- Produzir carvões ativados a partir de lamas. Em 2022, este trabalho estudou a valorização de lamas geradas numa ETAR na produção de carvões ativados para serem aplicados como adsorventes, no tratamento de lixiviados em aterros sanitários. Os carvões provenientes da ativação das lamas apresentaram-se como uma alternativa viável e com desempenho francamente superior ao do carvão comercial [85].

De notar que os dois primeiros estudos foram realizados especificamente para o contexto da ETARI, no entanto nunca foram para a frente.

A transição para tintas de base aquosa e a preferência por tintas com baixo teor de COVs são passos importantes para a redução das emissões de COVs e a promoção de ambientes mais saudáveis. Essas escolhas não apenas beneficiam a qualidade do ar que respiramos, mas também contribuem para a preservação do nosso precioso meio ambiente, tornando-se uma prática essencial na busca por um futuro mais sustentável.

A proteção dos solos é uma preocupação ambiental fundamental, e duas estratégias cruciais para reduzir o perigo de contaminação dos solos são a criação de bacias de retenção e a diminuição do consumo de produtos químicos. Essas práticas contribuem significativamente para a manutenção da fertilidade do solo, a preservação da biodiversidade e a prevenção da contaminação ambiental, promovendo um futuro mais saudável e sustentável para o nosso planeta.

Por fim, de modo a corrigir o registo de informação obsoleto, devem ser instalados contadores automáticos que disponibilizem a informação em tempo real. Esta estratégia melhora a precisão dos dados, mas também impulsiona a eficiência e a capacidade de resposta das organizações, contribuindo para uma gestão mais eficaz e informada.

3.2.4. Alocação de recursos

Nesta fase, devem ser determinados os recursos necessários e disponíveis para a implementação das melhorias propostas. Uma vez que, de momento, a ETARI está à responsabilidade de um único colaborador, toda a responsabilidade incide sobre essa pessoa. Assim, quando a gestão de topo decidir avançar com a implementação de alguma medida, deverá designar uma equipa interna responsável pela supervisão e execução das ações planeadas.

É necessário garantir que a equipa está devidamente capacitada para implementar as novas medidas. Deve também ser disponibilizado um orçamento específico para a implementação das melhorias propostas, incluindo investimentos em tecnologias mais eficientes, formação da equipa e parcerias externas.

3.2.5. Implementação e controlo

No decorrer desta etapa, as ações devem ser implementadas de acordo com o plano, efetuando um acompanhamento e controlo constante em relação aos objetivos. Os resultados devem ser avaliados regularmente e devem ser feitos ajustes ao *roadmap*, se necessário.

3.2.6. Comunicação

É importante partilhar os progressos, resultados alcançados e iniciativas de sustentabilidade com as partes interessadas. Essa interação pode fortalecer a reputação da empresa e promover a colaboração em direção à sustentabilidade. Nesta fase devem ser comunicadas as iniciativas e os resultados alcançados interna e externamente. Envolver os funcionários, partes interessadas e a comunidade em geral ajuda a garantir o apoio e o comprometimento contínuos.

3.2.7. Avaliação contínua

Os *roadmaps* podem ser flexíveis e iterativos ao longo do tempo. Dependendo das circunstâncias e mudanças no ambiente, pode ser imperativo fazer esses ajustes ou até mesmo combinar diferentes tipos para atender às necessidades em evolução.

Esta fase final tem como objetivo verificar se as estratégias estão a alcançar os resultados desejados, através de avaliações periódicas do *roadmap*. Devem ser feitos ajustes, se necessário, caso se identifiquem novas oportunidades de melhorias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados deste estudo. Primeiramente é identificado e clarificado o *roadmap* desenvolvido. De seguida surge uma discussão acerca do trabalho e dos objetivos atingidos, bem como das etapas a desenvolver mais tarde.

4.1. Apresentação de resultados

O resultado consequente deste trabalho é o *roadmap* (Apêndice A) desenvolvido, que se apresenta na Figura 4.

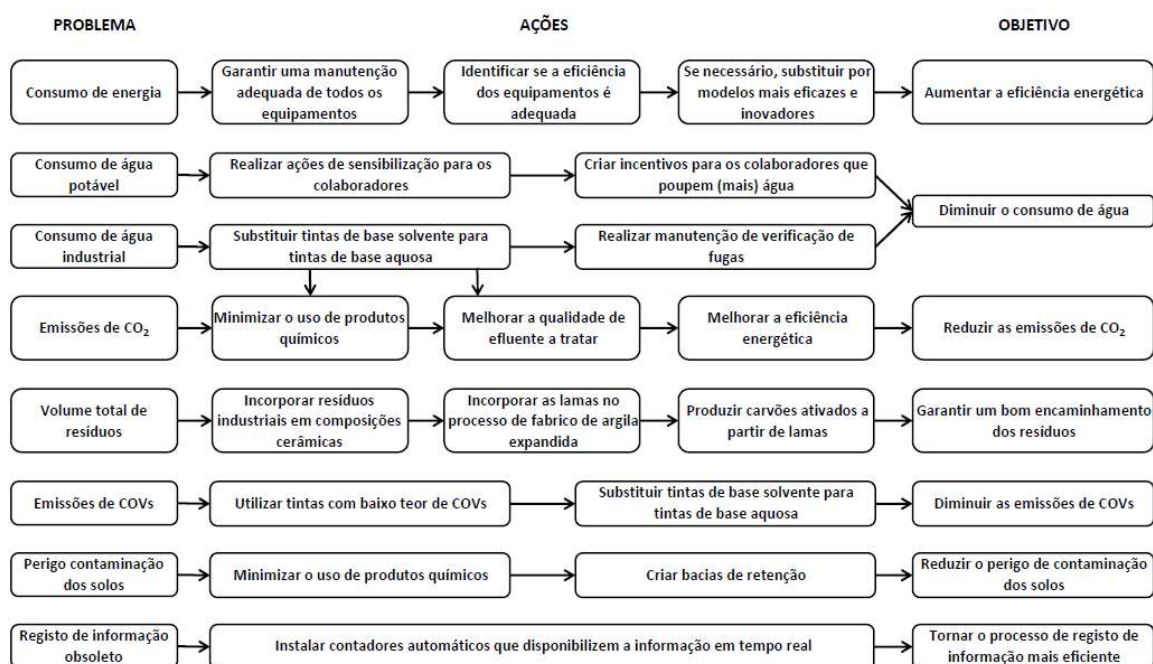


Figura 4 – *Roadmap* desenvolvido

Para elaborar este *roadmap*, com o objetivo de aprimorar a Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais recorrendo a estratégias de Economia Circular e *Lean green*, uma série de etapas cruciais foram meticulosamente executadas. Primeiramente, foi essencial realizar uma identificação minuciosa dos problemas preexistentes na estação. Em seguida, definiram-se objetivos claros que se pretendiam alcançar com a melhoria do sistema. A partir desse ponto, foram concebidas soluções e estratégias abrangentes para superar os desafios identificados. O *roadmap* em questão reflete, portanto, essas etapas do processo, definindo um roteiro claro para a implementação bem-sucedida das melhorias necessárias.

4.2. Discussão de resultados

Uma Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais tem como objetivo reduzir os impactos ambientais das águas residuais industriais antes da sua libertação. No entanto, o próprio funcionamento de uma ETARI pode ter alguns problemas/impactos ambientais. Aqui estão alguns desses impactos:

- Consumo de energia: O processo de tratamento de águas residuais industriais requer energia para operar bombas, agitadores, arejadores e outros equipamentos. O consumo de energia pode contribuir para a emissão de gases com efeito de estufa e aumentar a pegada de carbono da ETARI;
- Emissões atmosféricas: Durante o tratamento de águas residuais, certos processos podem resultar na emissão de gases, COVs e odores desagradáveis. É importante que as ETARIs adotem medidas de controlo e tratamento dessas emissões para minimizar o seu impacto na qualidade do ar;
- Uso de produtos químicos: Algumas ETARIs utilizam produtos químicos, como coagulantes, floculantes e desinfetantes, durante o processo de tratamento. O uso desses produtos químicos pode resultar em resíduos químicos que precisam de ser geridos adequadamente para evitar a contaminação ambiental;
- Resíduos sólidos: As lamas são resíduos sólidos resultantes do processo de tratamento das águas residuais e podem conter substâncias perigosas, como metais pesados, produtos químicos tóxicos e patogénicos. A produção e gestão adequada dessas lamas são fundamentais para evitar impactos ambientais negativos;
- Consumo de água: Algumas ETARIs consomem grandes volumes de água para fins de resfriamento e lavagem de equipamentos. Isso pode afetar os recursos hídricos locais, especialmente em áreas com escassez de água.

É importante ressaltar que os impactos ambientais de uma ETARI podem ser minimizados por meio da adoção de tecnologias avançadas, práticas de gestão eficientes, controlo rigoroso das emissões atmosféricas e controlo adequado dos efluentes. As ETARIs desempenham um papel crucial na proteção do meio ambiente, mas é essencial abordar e mitigar os impactos ambientais associados ao seu funcionamento para garantir que cumpram o seu objetivo de maneira sustentável.

Deste modo foram definidas ações para dar solução aos problemas apresentados, baseadas em estratégias de Economia Circular e *Lean green*:

- Garantir uma manutenção adequada de todos os equipamentos: prolonga a vida útil dos equipamentos, minimiza o tempo de inatividade devido a avarias e garante o funcionamento eficiente da ETARI;
- Identificar se a eficiência dos equipamentos é adequada: permite avaliar se os equipamentos estão a cumprir os objetivos, ajuda a identificar pontos de melhoria e otimização do processo;
- Substituir os equipamentos por modelos mais eficazes e inovadores: melhora a eficiência do processo de tratamento de águas residuais, pode reduzir custos operacionais a longo prazo e melhorar a qualidade da água tratada;
- Realizar ações de sensibilização para os colaboradores: promove a consciencialização sobre a importância do tratamento de águas residuais e encoraja práticas responsáveis no local de trabalho;
- Criar incentivos para os colaboradores que poupem (mais) água: estimula a conservação da água e reduz o seu consumo excessivo;
- Substituir tintas de base solvente por tintas de base aquosa: reduz a emissão de COVs prejudiciais ao meio ambiente e, conseqüentemente, reduz a utilização de produtos químicos e melhora a qualidade do efluente a tratar;

- Utilizar tintas com baixo teor de COVs: melhora a qualidade do ar e a saúde dos trabalhadores, demonstrando um compromisso com a sustentabilidade ambiental;
- Realizar manutenção de verificação de fugas: evita a contaminação do meio ambiente devido a vazamentos não detetados e garante o tratamento eficaz de todas as águas residuais;
- Incorporar resíduos industriais em composições cerâmicas: reduz o desperdício de resíduos industriais e pode resultar em materiais cerâmicos mais sustentáveis;
- Incorporar as lamas no processo de fabrico de argila expandida: reduz a quantidade de lamas a serem tratadas separadamente e pode melhorar a qualidade da argila expandida;
- Produzir carvões ativados a partir de lamas: transforma resíduos em produtos valiosos e pode ser uma fonte adicional de lucro;
- Criar bacias de retenção: evita que o derrame de produtos químicos contamine o solo e evita a descarga de águas residuais não tratadas no ambiente;
- Instalar contadores automáticos que disponibilizem a informação em tempo real: facilita o controlo em tempo real do desempenho da ETARI e permite a deteção precoce de problemas operacionais.

Estas ações permitem atingir os objetivos pretendidos: aumentar a eficiência energética, diminuir o consumo de água, reduzir as emissões de CO₂, garantir um bom encaminhamento dos resíduos, diminuir as emissões de COVs, reduzir o perigo de contaminação dos solos e tornar o processo de registo de informação mais eficiente.

No entanto podem surgir algumas limitações ou impedimentos. As ETARIs também requerem recursos financeiros para a sua operação e manutenção contínuas. Isso inclui custos com energia elétrica, produtos químicos, mão de obra, controlo e conformidade regulatória. Esses custos operacionais podem representar um elevado encargo financeiro para as indústrias.

Atualmente são utilizadas tintas de base solvente, mas seria mais vantajoso alterar para a utilização de tintas de base aquosa, como já foi referido. No entanto, estas requerem um tempo de secagem mais elevado o que levaria a uma diminuição das unidades produzidas diariamente ou, então, para manter a produção, seria necessário aumentar a linha de produção para compensar esse atraso. Qualquer uma das alternativas implica um custo elevado. Embora a transição inicial possa ser dispendiosa, a economia de custos a longo prazo, em termos de conformidade com regulamentos, saúde dos funcionários e sustentabilidade, pode ser considerável. É também uma prática mais sustentável, o que pode ser uma vantagem em termos de imagem da empresa e apelo aos consumidores conscientes do meio ambiente.

Já as restantes fases do processo de *roadmapping* apenas podem ser manipuladas assim que houver intenções de concretizar estes planos, uma vez que não foi possível implementá-los.

A alocação de recursos é essencial para determinar os recursos necessários, tanto a nível de pessoal como de investimento. Após essa decisão as ações devem ser implementadas de acordo com o plano, efetuando um acompanhamento e controlo constante em relação aos objetivos.

A nível temporal, recomenda-se que num primeiro momento, o nível de análise seja anual e que um detalhe mensal possa ser feito por cada área de melhoria para possibilitar o controlo efetivo do planeado versus realizado.

É importante compartilhar os progressos, resultados alcançados e iniciativas de sustentabilidade com as partes interessadas. Essa interação pode fortalecer a reputação da empresa e promover a colaboração em direção à sustentabilidade.

Os *roadmaps* podem ser flexíveis e iterativos ao longo do tempo. Dependendo das circunstâncias e mudanças no ambiente, pode ser imperativo fazer esses ajustes ou até mesmo combinar diferentes tipos para atender às necessidades em evolução.

Uma gestão eficiente, adoção de tecnologias avançadas e conformidade com as regulamentações ambientais podem ajudar a otimizar os benefícios económicos e minimizar os custos associados à operação de uma ETARI. Com estas medidas, a empresa pode atingir metas mais sustentáveis sem comprometer o desempenho dos tratamentos da ETARI.

5. CONCLUSÃO

Para finalizar, o quinto capítulo deste estudo dedica-se às conclusões e às perspectivas para trabalhos futuros.

5.1. Conclusões finais

Este trabalho apresenta uma metodologia abrangente e inovadora para o desenvolvimento de um *roadmap* para a melhoria de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais. Por meio da aplicação desta metodologia, empresas de diversos setores poderão enfrentar os desafios associados ao tratamento de efluentes industriais, garantindo a conformidade com as regulamentações ambientais, a redução do impacto negativo no ecossistema e o fomento à responsabilidade social corporativa.

Este *roadmap* representa um passo importante em direção à sustentabilidade ambiental e operacional. Ao longo do processo, foram identificados diversos problemas e impactos ambientais associados ao funcionamento da ETARI, que vão desde o consumo de energia até ao uso de produtos químicos e gestão de resíduos sólidos.

Para abordar esses desafios, foram propostas ações concretas baseadas em princípios de Economia Circular e *Lean green*. Estas ações incluem melhorias na manutenção de equipamentos, substituição por modelos mais eficientes, redução de emissões de COVs, incorporação de resíduos em processos produtivos, entre outras. Todas essas ações têm o potencial de aumentar a eficiência energética, reduzir o consumo de água, diminuir as emissões de carbono e minimizar o impacto ambiental.

No entanto, é importante reconhecer que a implementação dessas ações pode enfrentar algumas limitações, como custos iniciais significativos e possíveis desafios operacionais, como no caso da transição para tintas de base aquosa. No entanto, é fundamental considerar os benefícios a longo prazo, que incluem economia de custos, conformidade regulatória, melhoria da imagem da empresa e contribuição para a sustentabilidade ambiental.

Em resumo, a gestão eficiente, a adoção de tecnologias avançadas e a conformidade com regulamentações ambientais podem levar a melhorias substanciais no desempenho das ETARIs, tornando possível alcançar metas mais sustentáveis sem comprometer a qualidade do tratamento das águas residuais. Este *roadmap* representa um plano sólido para guiar a empresa na direção certa em termos de sustentabilidade e eficiência operacional.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

No desenvolvimento deste trabalho, surgiram algumas limitações como, por exemplo, a incompleta implementação do *roadmap*, uma vez que não foi possível concretizar as últimas etapas do processo. Algumas análises efetuadas não foram tão detalhadas quanto pretendido, pois não existiam dados acessíveis para suportar essas análises. Uma das áreas está associada aos custos/investimentos necessários.

Assim, algumas sugestões de trabalhos futuros seriam as seguintes:

- Desenvolvimento de modelos de gestão sustentável para ETARIs: Pesquisas sobre o desenvolvimento de modelos avançados de gestão sustentável de ETARIs, que integrem estratégias de Economia Circular e *Lean green*. Isso incluiria a criação de *frameworks* que considerem a alocação eficiente de recursos, o acompanhamento contínuo, a adaptação flexível e a comunicação eficaz com as partes interessadas;
- Tecnologias avançadas de controlo ambiental: A pesquisa pode-se voltar para o desenvolvimento de tecnologias avançadas de controlo ambiental, como sensores e sistemas de automação, para melhorar o acompanhamento em tempo real das operações da ETARI. Isso incluiria a análise de dados em tempo real para identificar ineficiências e tendências de desempenho;
- Economia Circular na gestão de resíduos da ETARI: Estudos podem explorar formas de otimizar a gestão de resíduos gerados pela ETARI, incluindo a valorização de subprodutos, como a transformação de lamas em recursos úteis ou a incorporação de resíduos em processos produtivos;
- Avaliação de impacto ambiental e económico: Estudos podem analisar o impacto ambiental e económico das melhorias implementadas nas ETARIs, incluindo a análise do retorno sobre o investimento de práticas sustentáveis e eficientes;
- Avaliação de tecnologias verdes: A pesquisa pode avaliar a eficácia de tecnologias verdes e inovações no tratamento de águas residuais industriais, como o uso de fontes de energia renovável e processos biológicos avançados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Ciliberto, K. Szopik-Depczyńska, M. Tarczyńska-Luniewska, A. Ruggieri, e G. Ioppolo, «Enabling the Circular Economy transition: a sustainable lean manufacturing recipe for Industry 4.0», *Bus Strategy Environ*, vol. 30, n. 7, pp. 3255–3272, Nov. 2021, doi: 10.1002/bse.2801.
- [2] J. Kirchherr, D. Reike, e M. Hekkert, «Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions», *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 127. Elsevier B.V., pp. 221–232, 2017. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
- [3] P. Ghisellini, C. Cialani, e S. Ulgiati, «A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems», *J Clean Prod*, vol. 114, pp. 11–32, Fev. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.09.007.
- [4] H. T. S. Caldera, C. Desha, e L. Dawes, «Exploring the role of lean thinking in sustainable business practice: A systematic literature review», *J Clean Prod*, vol. 167, pp. 1546–1565, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.05.126.
- [5] W. Abualfaraa, K. Salonitis, A. Al-Ashaab, e M. Ala'raj, «Lean-green manufacturing practices and their link with sustainability: A critical review», *Sustainability*, vol. 12, n. 3, Fev. 2020, doi: 10.3390/su12030981.
- [6] T. Schmitt, C. Wolf, T. T. Lennerfors, e S. Okwir, «Beyond “Leanear” production: A multi-level approach for achieving circularity in a lean manufacturing context», *J Clean Prod*, vol. 318, Out. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128531.
- [7] M. Kurdve e M. Bellgran, «Green lean operationalisation of the circular economy concept on production shop floor level», *J Clean Prod*, vol. 278, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123223.
- [8] M. K. Lim, M. Lai, C. Wang, e S. Y. Lee, «Circular economy to ensure production operational sustainability: A green-lean approach», *Sustain Prod Consum*, vol. 30, pp. 130–144, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.spc.2021.12.001.
- [9] Toyota Caetano Portugal, «Apresentação da empresa». <https://toyotacaetano.pt/empresa/apresentacao/> (acedido 14 de Julho de 2023).
- [10] Toyota Caetano Portugal, «Fábrica de Ovar», Acedido: 14 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://toyotacaetano.pt/sector-industrial/fabrica-de-ovar/>
- [11] J. P. Davim, *Progress in Lean Manufacturing*, First. Springer, 2018.
- [12] I. Belekoukias, J. A. Garza-Reyes, e V. Kumar, «The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations», *Int J Prod Res*, vol. 52, n. 18, pp. 5346–5366, Set. 2014, doi: 10.1080/00207543.2014.903348.
- [13] J. Womack, D. Jones, e D. Roos, *The Machine that changed the world: The story of Lean Production*. Free Press, 1990.
- [14] NIST, *Principles of lean manufacturing with live simulation*. Manufacturing Extension Partnership, 2000.

- [15] M. George, *Lean Six Sigma for Service*, First. McGraw Hill, 2003.
- [16] R. Shah e P. T. Ward, «Defining and developing measures of lean production», *Journal of Operations Management*, vol. 25, n. 4, pp. 785–805, Jun. 2007, doi: 10.1016/j.jom.2007.01.019.
- [17] Z. Radnor, «Transferring lean into government», *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 21, n. 3, pp. 411–428, Jan. 2010, doi: 10.1108/17410381011024368.
- [18] M. Hallgren e J. Olhager, «Lean and agile manufacturing: External and internal drivers and performance outcomes», *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 29, n. 10, pp. 976–999, Set. 2009, doi: 10.1108/01443570910993456.
- [19] P. Dennis, *Lean Production Simplified*, Second. Productivity Press, 2002.
- [20] T. Ohno, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, 1988.
- [21] G. D. Galsworth, *Visual Workplace Visual Thinking*, First. Productivity Press, 2017.
- [22] J. Liker, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, First. McGraw Hill, 2004.
- [23] K. Amoako-Gyampah e V. B. Gargeya, «Just-in-time manufacturing in Ghana», *Industrial Management and Data Systems*, vol. 101, n. 3, pp. 106–113, 2001, doi: 10.1108/02635570110386562.
- [24] K. Suzaki, *Gestão de Operações Lean*. LeanOp Press, 2010.
- [25] J. P. Womack e D. T. Jones, *Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, First. Free Press, 2003.
- [26] J. Magretta, *Michael Porter - O Essencial sobre Estratégia, Concorrência e Competitividade*. Centro Atlântico, 2012.
- [27] P. Hines e D. Taylor, *Going lean: a guide to implementation*. Lean Enterprise Research Centre, 2000.
- [28] A. Villa e T. Watanabe, «Production management: Beyond the dichotomy between push and pull», *Butterworth-Heinemann Ltd*, vol. 6, n. 1, pp. 53–63, 1993.
- [29] M. Pieńkowski, «Waste Measurement Techniques for Lean Companies», *International Journal of Lean Thinking*, vol. 5, n. 1, 2014.
- [30] J. Bicheno, «Towards Reducing Queues: Muri, Mura, Muda», em *European Lean Educator Conference*, Braga, 2018, pp. 1–10.
- [31] G. H. Brundtland, *ENERGY: THE POWER TO DEVELOP*, vol. 17. Berlim: World commission on environment and development, 1987.
- [32] J. Elkington, «Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development», *Calif Manage Rev*, vol. 36, n. 2, pp. 90–100, 1994, doi: <https://doi.org/10.2307/41165746>.

- [33] R. Henao, W. Sarache, e I. Gómez, «Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges», *J Clean Prod*, vol. 208, pp. 99–116, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.116.
- [34] A. Savitz e K. Weber, *The Triple Bottom Line: How Today's Best-Run Companies Are Achieving Economic, Social and Environmental Success - and How You Can Too*, First., vol. 16. Jossey-Bass, 2006.
- [35] V. K. Mittal, R. Sindhvani, V. Kalsariya, F. Salroo, K. S. Sangwan, e P. L. Singh, «Adoption of Integrated Lean-Green-Agile Strategies for Modern Manufacturing Systems», *Procedia CIRP*, vol. 61, pp. 463–468, 2017, doi: 10.1016/j.procir.2016.11.189.
- [36] A. Fercoq, S. Lamouri, e V. Carbone, «Lean/Green integration focused on waste reduction techniques», *J Clean Prod*, vol. 137, pp. 567–578, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.107.
- [37] J. A. Garza-Reyes, «Lean and green - a systematic review of the state of the art literature», *J Clean Prod*, vol. 102, pp. 18–29, Set. 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.04.064.
- [38] H. Zameer, Y. Wang, e H. Yasmeen, «Reinforcing green competitive advantage through green production, creativity and green brand image: Implications for cleaner production in China», *J Clean Prod*, vol. 247, Fev. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119119.
- [39] R. Ng, J. S. C. Low, e B. Song, «Integrating and implementing Lean and Green practices based on proposition of Carbon-Value Efficiency metric», *J Clean Prod*, vol. 95, pp. 242–255, Mai. 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.02.043.
- [40] D. Mollenkopf, H. Stolze, W. L. Tate, e M. Ueltschy, «Green, lean, and global supply chains», *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, vol. 40, n. 1–2, pp. 14–41, 2010, doi: 10.1108/09600031011018028.
- [41] EPA, «The Lean and Environment Toolkit». 2007. [Em linha]. Disponível em: www.epa.gov/lean
- [42] J. A. Garza-Reyes, V. Kumar, S. Chaikittisilp, e K. H. Tan, «The effect of lean methods and tools on the environmental performance of manufacturing organisations», *Int J Prod Econ*, vol. 200, pp. 170–180, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.ijpe.2018.03.030.
- [43] A. Chiarini, «Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: An empirical observation from European motorcycle component manufacturers», *J Clean Prod*, vol. 85, pp. 226–233, Dez. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.07.080.
- [44] Y. Monden, *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*, 4.^a ed. Productivity Press, 2011.
- [45] A. Belhadi, F. E. Touriki, e S. El Fezazi, «Benefits of adopting lean production on green performance of SMEs: a case study», *Production Planning and Control*, vol. 29, n. 11, pp. 873–894, Ago. 2018, doi: 10.1080/09537287.2018.1490971.

- [46] A. B. Pampanelli, P. Found, e A. M. Bernardes, «A Lean & Green Model for a production cell», *J Clean Prod*, vol. 85, pp. 19–30, Dez. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.06.014.
- [47] A. Cherrafi *et al.*, «Green and lean: a Gemba–Kaizen model for sustainability enhancement», *Production Planning and Control*, vol. 30, n. 5–6, pp. 385–399, Abr. 2019, doi: 10.1080/09537287.2018.1501808.
- [48] B. Ulutas, «An application of SMED methodology», *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, vol. 5, n. 7, 2011, [Em linha]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/286968724>
- [49] E. Costa, R. M. Sousa, S. Bragança, e A. C. Alves, «An industrial application of the SMED methodology and other Lean Production tools», em *4th International Conference on Integrity, Reliability and Failure*, Funchal, 2013. doi: 10.13140/2.1.2099.5525.
- [50] P. K. Chen, J. Fortuny-Santos, I. Lujan, e P. Ruiz-de-Arbulo-López, «Sustainable manufacturing: Exploring antecedents and influence of Total Productive Maintenance and lean manufacturing», *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 11, n. 11, Nov. 2019, doi: 10.1177/1687814019889736.
- [51] F. Zammori, M. Braglia, e M. Frosolini, «Stochastic overall equipment effectiveness», *Int J Prod Res*, vol. 49, n. 21, pp. 6469–6490, Nov. 2011, doi: 10.1080/00207543.2010.519358.
- [52] M. Rossi, M. Rossini, e S. Terzi, *Proceedings of the 6th European Lean Educator Conference: ELEC 2019*. Springer, 2020.
- [53] D. Seth e V. Gupta, «Application of value stream mapping for lean operations and cycle time reduction: An Indian case study», *Production Planning and Control*, vol. 16, n. 1, pp. 44–59, Jan. 2005, doi: 10.1080/09537280512331325281.
- [54] M. Dieste, R. Panizzolo, J. A. Garza-Reyes, e A. Anosike, «The relationship between lean and environmental performance: Practices and measures», *J Clean Prod*, vol. 224, pp. 120–131, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.243.
- [55] R. A. Inman e K. W. Green, «Lean and green combine to impact environmental and operational performance», *Int J Prod Res*, vol. 56, n. 14, pp. 4802–4818, Jul. 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1447705.
- [56] A. Galeazzo, A. Furlan, e A. Vinelli, «Lean and green in action: Interdependencies and performance of pollution prevention projects», *J Clean Prod*, vol. 85, pp. 191–200, Dez. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.10.015.
- [57] S. Rothenberg, F. K. Pil, e J. Maxwell, «Lean, green, and the quest for superior environmental performance», *Prod Oper Manag*, 2009, doi: 10.1111/j.1937-5956.2001.tb00372.x.

- [58] J. A. Garza-Reyes, «Green lean and the need for Six Sigma», *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 6, n. 3, pp. 226–248, Ago. 2015, doi: 10.1108/IJLSS-04-2014-0010.
- [59] F. J. Gomes da Silva e R. M. Gouveia, *Cleaner Production: Toward a Better Future*, vol. 11. Springer, 2020.
- [60] W. R. Stahel, «Circular Economy», *Nature*, vol. 531, n. 7595. Nature Publishing Group, pp. 435–438, 23 de Março de 2016. doi: 10.1038/531435a.
- [61] N. Suchek, C. I. Fernandes, S. Kraus, M. Filser, e H. Sjögrén, «Innovation and the circular economy: A systematic literature review», *Bus Strategy Environ*, vol. 30, n. 8, pp. 3686–3702, Dez. 2021, doi: 10.1002/bse.2834.
- [62] M. Geissdoerfer, P. Savaget, N. M. P. Bocken, e E. J. Hultink, «The Circular Economy – A new sustainability paradigm?», *Journal of Cleaner Production*, vol. 143. Elsevier Ltd, pp. 757–768, 1 de Fevereiro de 2017. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048.
- [63] A. Rashid, F. M. A. Asif, P. Krajnik, e C. M. Nicolescu, «Resource conservative manufacturing: An essential change in business and technology paradigm for sustainable manufacturing», *J Clean Prod*, vol. 57, pp. 166–177, Out. 2013, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.06.012.
- [64] J. Korhonen, A. Honkasalo, e J. Seppälä, «Circular Economy: The Concept and its Limitations», *Ecological Economics*, vol. 143, pp. 37–46, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.06.041.
- [65] A. V. Ribeiro, L. M. Fonseca, e S. Santos, «ECONOMIA VERDE E ECONOMIA CIRCULAR: DESAFIOS E OPORTUNIDADES», 2018.
- [66] L. M. Fonseca, J. P. Domingues, M. T. Pereira, F. F. Martins, e D. Zimon, «Assessment of circular economy within Portuguese organizations», *Sustainability*, vol. 10, n. 7, Jul. 2018, doi: 10.3390/su10072521.
- [67] B. Suárez-Eiroa, E. Fernández, G. Méndez-Martínez, e D. Soto-Oñate, «Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice», *Journal of Cleaner Production*, vol. 214. Elsevier Ltd, pp. 952–961, 20 de Março de 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.271.
- [68] B. Kiser, «Getting the circulation going», *Nature*, vol. 531, pp. 443–446, 2016.
- [69] «Scoping study to identify potential circular economy actions, priority sectors, material flows and value chains», 2014, doi: 10.2779/29525.
- [70] S. Ritzén e G. Ö. Sandström, «Barriers to the Circular Economy - Integration of Perspectives and Domains», em *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2017, pp. 7–12. doi: 10.1016/j.procir.2017.03.005.
- [71] S. Kevin van Langen, C. Vassillo, P. Ghisellini, D. Restaino, R. Passaro, e S. Ulgiati, «Promoting circular economy transition: A study about perceptions and awareness by different stakeholders groups», *J Clean Prod*, vol. 316, Set. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128166.

- [72] E. C. Luis e D. Celma, «Circular economy. A review and bibliometric analysis», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, n. 16, Ago. 2020, doi: 10.3390/SU12166381.
- [73] J. L. Cardoso, «The circular economy: historical grounds», em *Changing Societies: Legacies and Challenges*, Imprensa de Ciências Sociais, 2018, pp. 115–127. [Em linha]. Disponível em: <http://circulareconomy.europa.eu/platform/>.
- [74] S. Borschiver e A. Silva, *Technology Roadmap. Planejamento Estratégico Para Alinhar Mercado-Produto-Tecnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2016.
- [75] S. Lee e Y. Park, «Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules», *Technol Forecast Soc Change*, vol. 72, n. 5, pp. 567–583, Jun. 2005, doi: 10.1016/j.techfore.2004.11.006.
- [76] M. G. Oliveira *et al.*, *Roadmapping: Uma abordagem estratégica para o gerenciamento da inovação em produtos, serviços e tecnologias*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- [77] B. Almutairi, «A Strategic Roadmap for Achieving the Potential Benefits of Electronic Health Record System in the State of Kuwait», Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, University College London, 2011.
- [78] R. Phaal, L. Simonse, e E. den Ouden, «Next generation roadmapping for innovation planning», *International Journal of Technology Intelligence and Planning*, vol. 4, n. 2, pp. 135–152, 2008, doi: 10.1504/IJTIP.2008.018313.
- [79] R. Phaal, C. J. P. Farrukh, e D. R. Probert, «Developing a Technology Roadmapping System. Technology Management: A Unifying Discipline for Melting the Boundaries». 2005.
- [80] G. M. Coelho, D. M. Santos, M. de M. Santos, e L. F. Filho, «Caminhos para o desenvolvimento em prospecção tecnológica: TECHNOLOGY ROADMAPPING - um olhar sobre formatos e processos.», *Revista Parcerias Estratégicas*, vol. n.21, 2005.
- [81] S. Duarte e V. Cruz-Machado, «Green and lean supply-chain transformation: a roadmap», *Production Planning and Control*, vol. 30, n. 14, pp. 1170–1183, 2019, doi: 10.1080/09537287.2019.1595207.
- [82] T. Salifou *et al.*, «Creating a solar roadmap for the Republic of Togo», *Solar Compass*, vol. 6, p. 100043, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.solcom.2023.100043.
- [83] Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, «Incorporação de resíduos industriais da Salvador Caetano (Divisão Fabril de Ovar e Carregado) em composições cerâmicas», 2005.
- [84] Centro para a Valorização dos Resíduos, «Ensaio industrial de incorporação de Lamas de ETARI no fabrico de argila expandida», 2008.
- [85] D. Miguel Reis Vicente, P. Doutora Gabriela Gomes SUPERVISORAS, e D. Maria Bernardo, «PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÕES ATIVADOS A PARTIR DE LAMAS DE ETAR NO TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS».

APÊNDICE A – ROADMAP

