

VITOR HOMEM DE MELLO SANTOS

A busca por uma indústria sustentável por meio da produção mais limpa: um framework de desenvolvimento

Vitor Homem de Mello Santos

A busca por uma indústria sustentável por meio da produção mais limpa: um framework de desenvolvimento

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador (a): Prof. Dr. Otávio José de Oliveira

Guaratinguetá - SP
2021

S237b	<p>Santos, Vitor Homem de Mello</p> <p>A Busca por uma indústria sustentável por meio da produção mais limpa: um framework de desenvolvimento / Vitor Homem de Mello Santos – Guaratinguetá, 2021.</p> <p>70 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 45-56</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Otávio José de Oliveira</p> <p>1. Sustentabilidade. 2. Sistema de gestão ambiental. 3. Engenharia ambiental. 4. Produção enxuta. I. Título.</p> <p>CDU 504.06</p>
-------	---

Luciana Máximo

Bibliotecária CRB-8/3595

VITOR HOMEM DE MELLO SANTOS

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA


Prof. Dr. Andréia Maria Pedro Salgado
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Otávio José de Oliveira
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Karine Borges de Oliveira
UNESP-FEG


Prof. Aglaé Baptista Torres da Rocha
Membro Externo

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos;

ao meu orientador, *Prof. Dr. Otávio José de Oliveira* que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível;

aos meus pais *Cesar e Patrícia*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos;

às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar;

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – número do processo 2019/06077-1.

RESUMO

O crescimento dos níveis de produção e consumo globais têm resultado em uma elevada geração de poluição e resíduos por empresas industriais. Portanto, as pressões internacionais, governamentais e sociais para que essas empresas adotem iniciativas sustentáveis se intensificaram. A Produção Mais Limpa é uma das estratégias mais usadas para a redução dos impactos ambientais das indústrias e para a obtenção de vantagens competitivas. Ela tem sido uma importante ferramenta em muitos países na busca pelo desenvolvimento sustentável. Contudo, ela ainda tem sido adotada lentamente em muitos lugares devido às dificuldades enfrentadas pelas empresas durante sua implementação. Assim, o objetivo deste estudo é propor um framework composto por iniciativas governamentais, científicas e industriais para o desenvolvimento da Produção Mais Limpa. Para fundamentar o framework, foram investigadas as práticas de excelência dos países mais proeminentes nos cenários técnico e científico da Produção Mais Limpa e foram identificados na sua literatura os principais desafios de implementação e oportunidades de desenvolvimento científico desta estratégia, os quais serviram de benchmark para as propostas do framework. No setor governamental, o framework sugere ações para encorajar a adoção de práticas de Produção Mais Limpa, por meio de políticas nacionais, legislações, incentivos fiscais e campanhas educacionais. No setor científico, são sugeridas ações para a disseminação de avanços acadêmicos no tema, e tópicos sensíveis são destacados para o desenvolvimento de futuras pesquisas na área. No setor industrial, são propostas práticas para melhorar a eficiência dos processos de manufatura a partir da adoção de tecnologias limpas, sistemas de gestão e fortalecimento dos departamentos de Pesquisa e Desenvolvimento das empresas. Assim, este estudo contribui propondo iniciativas que irão ajudar na implementação de práticas de Produção Mais Limpa, reduzindo a geração de poluição na indústria, melhorando a eficiência dos seus processos e alinhando os países e sociedades ao desenvolvimento sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Produção mais limpa. Framework de desenvolvimento. Cenário técnico científico. Tríplice hélice.

ABSTRACT

The growth of global production and consumption rates has been resulted in higher pollution and waste generation by industrial companies. Therefore, international, governmental, and social pressures for these companies to adopt sustainable initiatives have intensified. Cleaner Production is one of the most used strategies to reduce the industries' environmental impacts and obtain competitive advantages. It has been an important tool for many countries in the path towards sustainable development. However, it is still adopted slowly in many places because of the difficulties faced by companies during its implementation. Hence, the objective of this study is to propose a framework composed of governmental, scientific, and industrial strategies, policies and initiatives for Cleaner Production development. The excellence practices of the most prominent countries in the Cleaner Production technical-scientific scenario and the Cleaner Production's main implementation challenges and scientific development opportunities were identified and were the benchmark for the framework proposals. In the government sector, the framework suggests actions to encourage the adoption of this strategy's practices through national policies, legislation, fiscal incentives, and educational campaigns. In the scientific sector, actions are suggested for the dissemination of academic advances in Cleaner Production, and sensitive topics are highlighted for developing future research in the area. In the industrial sector, practices are proposed to increase the manufacturing processes efficiency with the adoption of clean technologies, management systems, and strengthening the companies' areas of Research and Development. Thus, this study contributes providing initiatives that will help the Cleaner Production's practices implementation, reducing pollution generation in the industry, increasing the efficiency of its processes, and aligning countries and societies to sustainable development.

KEYWORDS: Cleaner production. Development framework. Technical scientific scenario. Triple helix.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo da Tríplice Hélice.....	10
Figura 2 – Publicações sobre a Produção Mais Limpa entre 1991 e 2019	13
Figura 3 – Principais áreas de estudo da Produção Mais Limpa.....	14
Figura 4 – Esquema do conceito da Produção Mais Limpa	16
Figura 5 – Níveis de implementação da Produção Mais Limpa.....	17
Quadro 1 – Classificação da Pesquisa	19
Figura 6 – Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa.....	20
Quadro 2 – Critérios de busca de artigos	21
Quadro 3 – Critérios de busca de patentes	22
Figura 7 – Os 20 países com mais patentes prioritárias relacionadas à PML (2000-2020).....	27
Quadro 4 – Clusters das oportunidades de desenvolvimento da PML.....	35
Quadro 5 – Clusters dos desafios para o desenvolvimento da PML	37
Quadro 6 – Framework de desenvolvimento da PML.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DS	Desenvolvimento Sustentável
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PML	Produção Mais Limpa
TL	Tecnologia Limpa
UNEP	United Nations Environment Programme
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	12
1.2	DELIMITAÇÃO	13
1.3	JUSTIFICATIVA	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3	MÉTODO DE PESQUISA	20
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	20
3.2	FLUXOGRAMA	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1	CENÁRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO	25
4.1.1	Brasil	25
4.1.2	China	29
4.1.3	Estados Unidos	31
4.1.4	Malásia	33
4.2	OPORTUNIDADES DE PESQUISA	35
4.3	DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA PML	38
4.3	FRAMEWORK DE DESENVOLVIMENTO DA PML	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE A – Top 10 países mais citados no tema	58
	APÊNDICE B – Top 10 autores mais citados no tema	59
	APÊNDICE C – Top 10 institutos de pesquisa mais citados no tema	61
	APÊNDICE D – Top 10 centros de financiamento mais citados no tema	63
	APÊNDICE E – Top 10 periódicos científicos mais citados no tema	65
	APÊNDICE F – Top 30 artigos mais citados no tema	66

1 INTRODUÇÃO

As questões ambientais começaram a ter destaque nas pautas internacionais no fim do século XX (KHALILI et al., 2015; KUBOTA; CANTORSKI, 2013). Este foi marcado por grandes avanços tecnológicos, científicos e industriais. Diversos países alcançaram elevados níveis de desenvolvimento industrial neste período (ASHTON et al., 2017; KAN; CHEN; TONG, 2012). Entretanto, o esgotamento de recursos naturais, elevados níveis de poluição e o aquecimento global foram alguns dos impactos negativos decorrentes deste desenvolvimento (UNIDO; UNEP, 2015).

Consequentemente, a preocupação internacional com os danos causados pelas empresas também cresceu (SEVERO; GUIMARÃES; DORION, 2017). A importância da gestão ambiental ganhou força devido ao aumento das pressões sociais e governamentais. As políticas ambientais dos países tornaram-se cada vez mais rigorosas, exigindo das corporações a adoção de iniciativas de minimização dos impactos ambientais de seus processos (YILMAZ; ANCTIL; KARAN, 2015; ZHANG; YANG; BI, 2013).

Neste contexto, na década de 1990, o “Rio Declaration” e a Agenda 21 formalizaram o Desenvolvimento Sustentável (DS) como um objetivo da comunidade internacional. O DS expressa a importância de um desenvolvimento harmonioso das esferas sociais, econômicas e ambientais dos países, dando ênfase à relação de dependência entre elas (KHALILI et al., 2015; ZILAHY et al., 2009). Dessa forma, o crescimento econômico não deve se dar à custa do esgotamento dos recursos naturais e destruição do meio ambiente, mas sim garantir a sobrevivência das próximas gerações, enquanto reduz a pobreza em níveis mundiais (HENRIQUES; CATARINO, 2015; KHALILI et al., 2015).

Sendo assim, diversas ações foram tomadas por instituições públicas e privadas a fim de impulsionar o DS (ZOU et al., 2017), principalmente nas empresas industriais. A indústria é um importante setor para a economia de diversos países, sendo um dos responsáveis pelo crescimento econômico. Entretanto, seus processos de manufatura impactam significativamente nos níveis de poluição e degradação ambiental (HUANG; LUO; XIA, 2013; JIA et al., 2014; SILVESTRE; NETO, 2014). Dessa forma, foram desenvolvidas diversas soluções e tecnologias visando a redução dos impactos ambientais provenientes das atividades industriais (FAÉ GOMES et al., 2013; HENS et al., 2018; KHALILI et al., 2015).

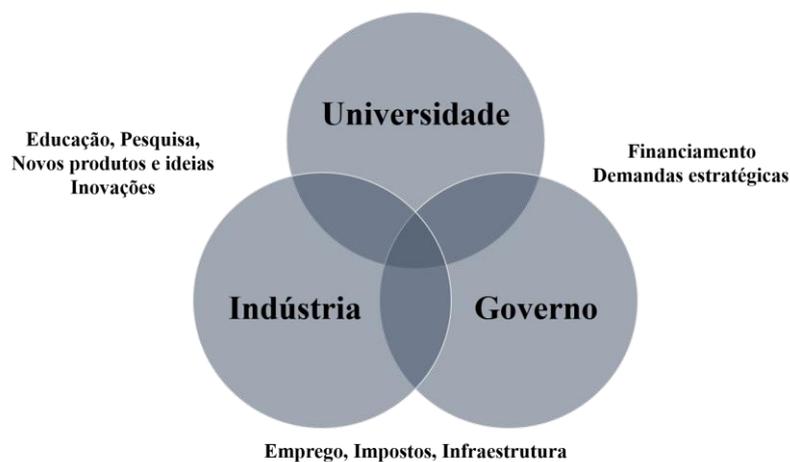
Dentre essas soluções, a Produção Mais Limpa (PML) é uma estratégia utilizada por muitos gestores de empresas industriais como mecanismo de promoção de processos menos

poluentes (ASHTON et al., 2017; KUBOTA; CANTORSKI, 2013; GODINHO FILHO; OLIVEIRA NETO; SHIBAO, 2016). A sua utilização possibilita a redução de desperdícios a partir de processos mais eficientes, pois reduz a utilização de recursos e a geração de poluição, melhora a imagem da empresa junto aos clientes, aumenta o nível de satisfação dos colaboradores em função de reflexos positivos na saúde e segurança, e reduz os custos operacionais dos sistemas produtivos, aumentando a performance econômica e alavancando os lucros das empresas (APARECIDO et al., 2013; ASHTON et al., 2017; GONÇALES FILHO et al., 2018).

Entretanto, muitas delas enfrentam desafios para implementar a PML devido a fatores externos, como instabilidades políticas, e internos, como falta de capacitação dos funcionários. Assim, nas últimas duas décadas, os benefícios e dificuldades da aplicação das práticas de PML têm sido estudadas e aplicadas em diferentes setores empresariais (APARECIDO et al., 2013; GONÇALES FILHO et al., 2018; KHALILI et al., 2015).

Nesse contexto, o modelo da Tríplice Hélice (Figura 1), desenvolvido por Henry Etzowitz e Loet Leydesdorff, é baseado na premissa de que as ações de interações entre Universidade, Indústria e o Governo são responsáveis pela identificação e tratamento dos desafios existentes nos países, por meio de pesquisa e desenvolvimento de inovações. Dessa forma, a Tríplice Hélice aponta estes setores como os principais geradores de inovação e responsáveis por impulsionar o desenvolvimento econômico sustentável nas sociedades modernas (KIMATU, 2016), o que inclui a criação de soluções para a PML.

Figura 1 – Modelo da Tríplice Hélice



Fonte: Kimatu (2016).

O governo é responsável por regular as relações entre estes setores, criar parcerias, fomentar pesquisas e garantir a infraestrutura necessária às empresas. A indústria é geradora de emprego e renda, sendo responsável pelas demandas estratégicas de inovação, que podem ser desenvolvidas internamente por seus departamentos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) ou a partir de parcerias com os dois outros setores. Já as universidades são responsáveis pela educação e capacitação de profissionais habilitados a atuar nas diversas áreas profissionais existentes e pela pesquisa e desenvolvimento de produtos, ideias e inovações (KIMATU, 2016; LEYDESDORFF; ETZKOWITZ, 1996; LEYDESDORFF; MEYER, 2006).

Portanto, o governo, a indústria e a universidade são os principais responsáveis pela identificação de oportunidades de iniciativas sustentáveis e devem estar preparados e motivados para assumir suas responsabilidades em promover o DS por meio do incentivo e desenvolvimento de políticas sustentáveis, da adoção de objetivos e estratégias ambientais nas suas esferas econômicas, ambientais e sociais e da divulgação de suas ações e resultados de forma transparente (ALMEIDA et al., 2015; ASHTON et al., 2017; VIEIRA; AMARAL, 2016). Assim, a adoção de iniciativas de incentivo e utilização da PML por estes setores contribuem para o desenvolvimento sustentável dos países.

Nesse contexto, surge a questão que norteou esta pesquisa: de que forma é possível fomentar o desenvolvimento da PML e contribuir para o desenvolvimento sustentável?

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é propor um framework de iniciativas, estratégias, políticas e oportunidades de pesquisa a serem adotadas e desenvolvidas pelos setores governamental, industrial e acadêmico para fomento da Produção Mais Limpa (PML). Os resultados deste estudo poderão guiar organizações nas implementações desta estratégia e no desenvolvimento de pesquisas sobre o tema.

Como objetivos específicos, têm-se:

- Identificar e agrupar as principais oportunidades de desenvolvimento científico da PML a partir dos 30 artigos mais citados no tema entre 2014 e 2020;
- Identificar e agrupar os principais desafios de implementação da PML a partir dos 30 artigos mais citados no tema entre 2014 e 2020;
- Analisar o desenvolvimento de patentes relacionadas a PML através da plataforma Orbit Intelligence; e

- Analisar as principais iniciativas na área da PML dos países de destaque nos cenários técnico e científico do tema.

1.2 DELIMITAÇÃO

De forma a garantir o grau de contribuição científica e a relevância dos resultados deste trabalho, esta pesquisa está delimitada (condições de contorno) ao estudo bibliométrico dos artigos científicos publicados dos últimos seis anos (2014 – 2020) que tiverem o termo “*Cleaner Production*” presente em seu título e disponíveis na base de dados Scopus e ao estudo das patentes disponíveis na base de dados *Orbit Intelligence* e que tenham algum dos termos “*Cleaner Production*”, “*Clean Technology*”, “*Clean Energy*” e “*Pollution Prevention*” presentes em seus títulos ou na descrição do seu objetivo. Este estudo é exequível pois não demanda recursos físicos ou financeiros para seu desenvolvimento, tendo em vista que grande parte de suas atividades se baseia na coleta de dados a partir da plataforma Scopus, à qual a UNESP nos garante o acesso, na tabulação dos dados a partir do software Excel, também disponibilizado pela universidade, e na análise dos resultados obtidos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo a UNIDO e UNEP (2015), entre 1995 e 2014 a população global cresceu 24%, ao mesmo tempo que a produção industrial mundial cresceu 77% e o consumo de bens e serviços cresceu 50%. Assim, o crescimento acelerado dos níveis de consumo e produção, principalmente em países emergentes, tem gerado um grande desafio para os países na tentativa de conciliar o desenvolvimento industrial com a conservação do meio ambiente (UNIDO; UNEP, 2015). Os processos de manufatura das indústrias impactam significativamente nos níveis de poluição e degradação ambiental (HUANG; LUO; XIA, 2013; JIA et al., 2014; SILVESTRE; NETO, 2014), apesar de também serem um dos responsáveis pelo crescimento econômico de muitos países.

Nesse contexto, desde o final do século XX as questões ambientais se tornaram recorrentes nas discussões da comunidade internacional. As pressões sociais, pressões de mercado e pressões para padronização internacional têm tornado as políticas ambientais dos países cada vez mais rigorosas, exigindo que as empresas industriais apresentem iniciativas sustentáveis (YILMAZ; ANCTIL; KARAN, 2015; ZHANG; YANG; BI, 2013).

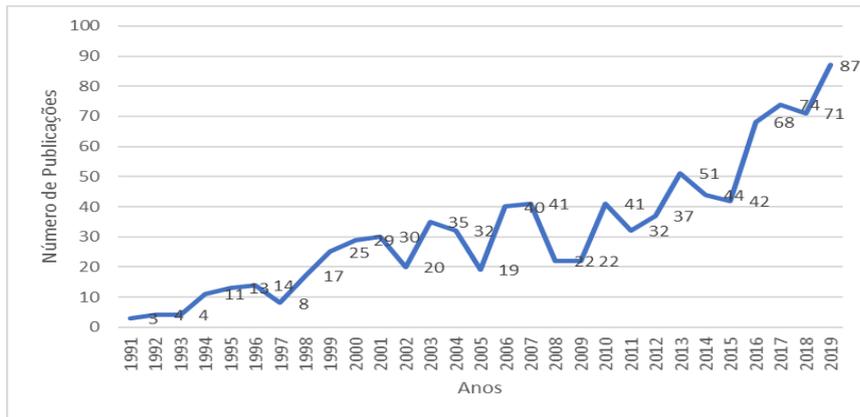
Além disso, a proteção do meio ambiente começou a ser vista como um fator importante que pode promover um aumento da competitividade industrial e longevidade dos negócios. Medidas de proteção ambiental unidas a um gerenciamento ambiental efetivo e eficiente trazem melhorias para os processos das empresas (GONÇALES FILHO et al., 2018). Assim, sugeriram diversas soluções que visavam reduzir os impactos negativos dos processos industriais no meio ambiente, possibilitando uma vantagem competitiva às empresas industriais.

Dentre essas soluções, a PML é uma estratégia muito utilizada, pois impulsiona uma melhoria na performance ambiental e econômica das empresas. Portanto, trabalhos que explorem e incentivem a implementação de ferramentas e práticas de PML, como o estudo aqui proposto, oferecem uma oportunidade para o contexto global. Além de que, no Brasil, durante o 4º trimestre de 2019, a participação do setor industrial no PIB alcançou 331,7 milhões de reais frente a 59,9 milhões do setor agropecuário (IBGE, 2020). Esses números mostram o grande impacto da indústria na economia brasileira. Logo, estudos que contribuam para avanços na competitividade e redução de impactos ambientais das empresas industriais ajudam a fortalecer o polo industrial brasileiro e, conseqüentemente, a economia do país.

A utilização dessa estratégia ajuda administradores a adotar medidas que integrem a proteção ambiental ao desenvolvimento econômico das empresas, consolidando a construção de sociedades sustentáveis (ALMEIDA et al., 2015). Dessa forma, a sistematização dos princípios e elementos essenciais para o sucesso das implementações das práticas de PML poderá servir de guia para futuras implementações e estudos desta estratégia, beneficiando a indústria, a economia e o meio ambiente.

Com base na base de dados Scopus (2020), verificou-se que o tema PML é estudado cientificamente há três décadas, porém ele vem apresentando um crescente aumento de interesse dos pesquisadores nos anos mais recentes, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Publicações sobre a Produção Mais Limpa entre 1991 e 2019

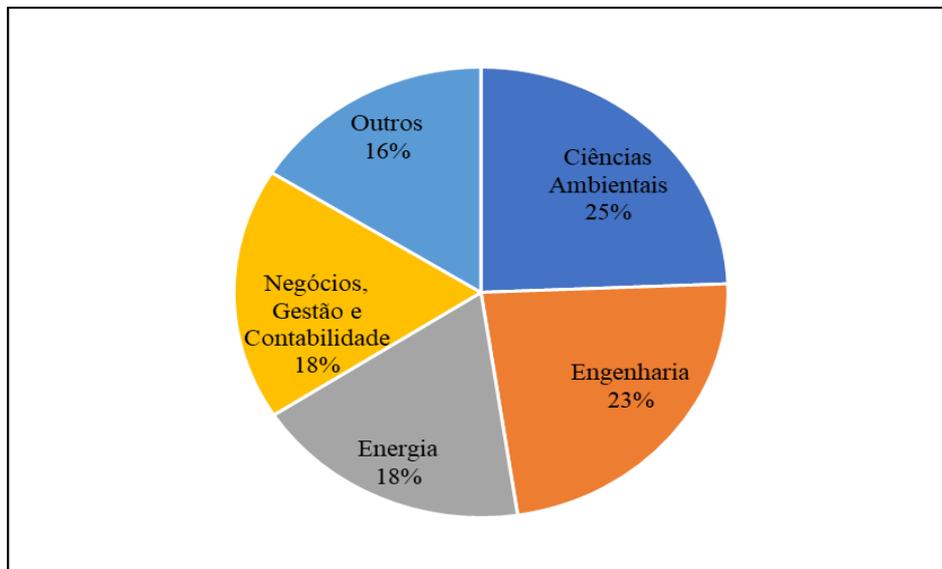


Fonte: Scopus (2020).

Os dados foram coletados no dia 31 de janeiro de 2020 e eles mostram que as primeiras publicações sobre o tema datam da década de 90, quando o assunto desenvolvimento sustentável começou a fortalecer-se nas pautas internacionais. A partir de então, o número de artigos publicados na área vem aumentando. Dessa forma, existe uma grande quantidade de material disponível para basear um sólido estudo dos princípios da PML.

A Figura 3 traz as principais áreas das publicações sobre PML na base de dados Scopus.

Figura 3 – Principais áreas de estudo da Produção Mais Limpa



Fonte: Scopus (2020).

Analisando o gráfico da Figura 3 é possível perceber que a área de engenharia é a segunda em que há mais publicações sobre PML. Isso evidencia a importância da pesquisa

sob a ótica da engenharia que auxilia a implementação da metodologia de PML com ferramentas e sistemas de gestão estruturados.

Ao mesmo tempo, ao analisar a literatura deste tema é possível encontrar muitos estudos de análise dos processos de implementação das práticas de PML e os resultados obtidos em diversos setores industriais. Entretanto, é comum os autores identificarem diversas barreiras durante a adoção sistemática dessa estratégia, apesar de seus benefícios (DOBES, 2013).

Portanto, é destacada a importância de estudos que sistematizem e sugiram práticas e ferramentas da PML que possam ser usadas para superar estas barreiras e desenvolver a literatura deste tema. Assim, o estudo que será desenvolvido visa suprir essa oportunidade de pesquisa ao propor um framework de iniciativas que podem ser adotadas pelos setores da Tríplice Hélice para o desenvolvimento do tema. Este estudo permitirá guiar os esforços de pesquisadores ao desenvolver novos trabalhos na área e apoiar tomadores de decisão das empresas industriais ao adotarem a PML.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se organizado em 5 seções, considerando essa introdução. Na segunda seção está o referencial teórico sobre a PML, na terceira seção é descrito o método empregado no desenvolvimento desta pesquisa e suas etapas, na quarta seção estão os resultados obtidos e a discussão dos mesmos e na quinta seção estão as conclusões gerais dos autores, seguidas pelas referências.

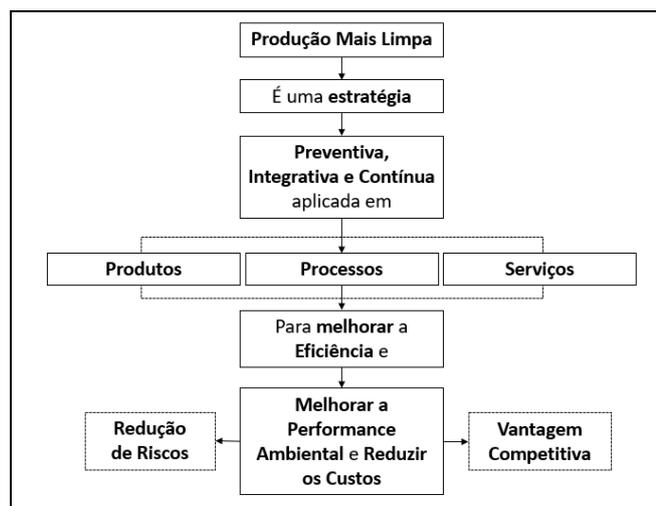
2 REFERENCIAL TEÓRICO

A PML é uma metodologia que busca planejar todas as etapas de um processo produtivo e do ciclo de vida de um produto visando prevenir e minimizar os impactos a curto e longo prazo ao meio ambiente e aos seres humanos. Tal abordagem envolve medidas de minimização do uso de recursos, como água, energia e matéria-prima, a busca pela melhoria da ecoeficiência dos processos, além da redução de desperdícios e emissão de poluição (FAÉ GOMES et al., 2013).

Os impactos ambientais e sociais das empresas estão associados à eficiência dos seus processos. Portanto, a PML busca diminuir os desperdícios e usos de recursos dos processos de fabricação, visando melhorar a sua eficiência. Conseqüentemente, esta estratégia reduz os impactos ambientais dos processos produtivos e alavanca os lucros e a competitividade das empresas (CABELLO ERAS et al., 2013).

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 2008) define Produção Mais Limpa como a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada aplicada a processos, produtos e serviços com o objetivo de aumentar a eficiência geral e reduzir os riscos para os seres humanos e o meio ambiente. A PML pode ser aplicada nas mais diversas áreas, desde os processos industriais até os serviços prestados (UNEP, 2008). A Figura 4 mostra um esquema deste conceito de Produção Mais Limpa.

Figura 4 - Esquema do conceito da Produção Mais Limpa



Fonte: UNEP (2018).

Assim, a PML utiliza uma abordagem que integra a gestão de desperdícios à prevenção de poluição, buscando criar processos de produção ambientalmente e socialmente amigáveis.

Ela pode ser implantada de duas formas: aplicando novas tecnologias em processos que resultem em menores impactos ambientais e/ou melhorando a eficiência dos processos já existentes (HUANG; LUO; XIA, 2013).

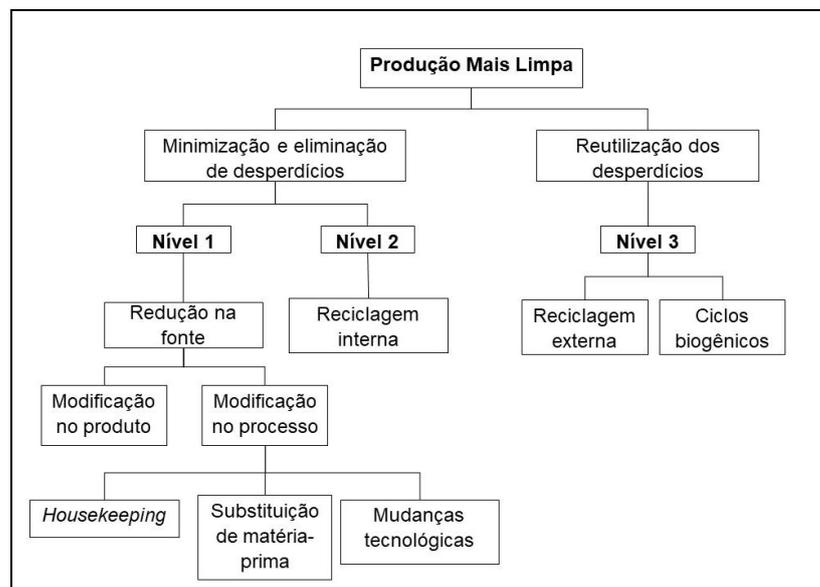
Dessa forma, o desenvolvimento e aperfeiçoamento de Tecnologias Limpas (TL) são importantes fatores nas implementações da PML. As evoluções tecnológicas têm grande potencial para redução de impactos ambientais em processos de manufatura ao favorecerem métodos e equipamentos ecologicamente mais eficientes e materiais mais limpos, reduzindo o uso de energia, água e matéria-prima e melhorando a produtividade (GONZÁLEZ, 2005; HALL; HELMERS, 2013; PINKSE; DOMMISSE, 2009).

De acordo com Cabello Eras (2013) e Faé Gomes (2013), a aplicação dos conceitos de Produção Mais Limpa deve ser feita ao longo do ciclo de produção e do produto, visando:

- melhorar a eficiência na utilização de recursos como matéria-prima e energia, eliminar materiais tóxicos e reduzir todas as emissões de poluentes e desperdícios;
- reduzir os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos produtos, desde a matéria-prima até seu descarte, garantindo sua viabilidade econômica;
- alterar processos melhorando suas performances ambientais e trazendo novas tecnologias e;
- transformar as culturas organizacionais.

Segundo Gonçalves Filho et al. (2018), a implementação das técnicas de PML pode ser feita em três níveis de acordo com a Figura 5.

Figura 5 – Níveis de implementação da Produção Mais Limpa



Fonte: Gonçalves Filho et al. (2018).

Na Figura 5 é possível observar que a PML prioriza ações de eliminação, minimização e reutilização de desperdícios. Para a eliminação e redução de resíduos são sugeridas ações de redução na fonte e reciclagem interna. A redução na fonte pode ser realizada com a modificação do produto ou do processo. O produto pode ser projetado de forma a minimizar os impactos negativos ao meio ambiente durante seu ciclo de vida. As modificações do processo podem ser por meio da limpeza e organização do espaço de trabalho (*housekeeping*), substituindo matéria-prima ou promovendo alterações tecnológicas no processo de fabricação. Já a reutilização dos resíduos pode ser feita pela reciclagem interna, externa ou por ciclos biogênicos (GONÇALES FILHO et al., 2018).

Os resultados que as empresas vêm obtendo com a utilização da PML vêm mostrando diversos benefícios, exaltando cada vez mais a correlação entre tais utilizações e a melhoria na performance dos negócios. A abordagem da PML permite uma minimização dos desperdícios e uma melhora do desempenho ambiental das empresas, ao mesmo tempo que são obtidos benefícios financeiros (KHALILI et al., 2015).

Segundo Aparecido (2013), a melhora na eficiência do uso de recursos em processos produtivos e a minimização de seus desperdícios resultam na redução de custos operacionais, o que aumenta a lucratividade do negócio. Além de benefícios financeiros, é possível observar impactos sociais positivos como o aumento da saúde e segurança no trabalho, que resulta no aumento da produtividade e satisfação dos empregados. Benefícios externos também podem ser pontuados como a melhoria da relação da empresa com seus *stakeholders*, sendo que a redução de riscos ambientais e de saúde das redondezas promovem uma melhoria na imagem da empresa.

Apesar de tais benefícios, as empresas enfrentam diversos desafios para implementar a PML. Fatores externos como as instabilidades advindas dos setores político, econômico e mercadológico causam insegurança às empresas, as quais se tornam relutantes em investir na sua adoção (DOBES, 2013; GONÇALES FILHO et al., 2018). Fatores internos como a falta de liderança e inexperiência da alta gerência com a PML, a ausência de monitoramento e revisão das implementações e o uso de tecnologias antigas e ineficientes dificultam o sucesso das práticas PML. Comunicação ineficiente, capacitação insuficiente de funcionários, falta de conhecimento sobre tecnologias limpas, falta de envolvimento de colaboradores e resistência à mudança também são barreiras internas enfrentadas pelas empresas durante a adoção da PML (APARECIDO et al., 2013; GONÇALES FILHO et al., 2018; KHALILI et al., 2015).

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O Quadro 1 apresenta a classificação desta pesquisa quanto à sua Natureza, Objetivos/fins, Abordagem e Procedimentos Técnicos.

Quadro 1 – Classificação da Pesquisa

Natureza	Básica
Objetivos/fins	Exploratória
Quanto à abordagem	Qualitativa
Procedimentos técnicos	Pesquisa bibliográfica e análise de conteúdo

Fonte: Adaptado de Kothari e Garg (2014).

Conforme apresentado no Quadro 1, esta pesquisa é classificada quanto à sua natureza como básica, por ter a intenção de gerar conhecimentos úteis para o avanço da ciência na área de PML, entretanto sem uma aplicação prática prevista (KOTHARI; GARG, 2014; PRODANOV; FREITAS, 2013). Quanto aos seus objetivos, o trabalho é classificado como exploratório por investigar as características de um fenômeno observado em relação à delimitação definida neste estudo, no caso, a identificação e sistematização das oportunidades científicas de desenvolvimento da PML, dos desafios de sua implementação e das principais práticas adotadas pelos países de destaque no tema (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Quanto à abordagem, esta pesquisa é classificada como qualitativa pelo seu caráter exploratório dos dados bibliográficos a serem coletados na plataforma científica Scopus. Os estudos realizados neste trabalho visam a identificação, compreensão, análise e interpretação das oportunidades científicas de desenvolvimento da PML, dos desafios das implementações dessa estratégia e das principais práticas de destaque no tema, contribuindo para seu desenvolvimento (KOTHARI; GARG, 2014).

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa se deu por meio de uma pesquisa bibliográfica e análise de conteúdo. A pesquisa bibliográfica é baseada no estudo aprofundado do material já publicado sobre algum tema, constituído de publicações em periódicos científicos indexados. Tal estudo objetiva colocar o pesquisador em contato com os estudos já desenvolvidos sobre o tema, possibilitando identificar as características de sua literatura

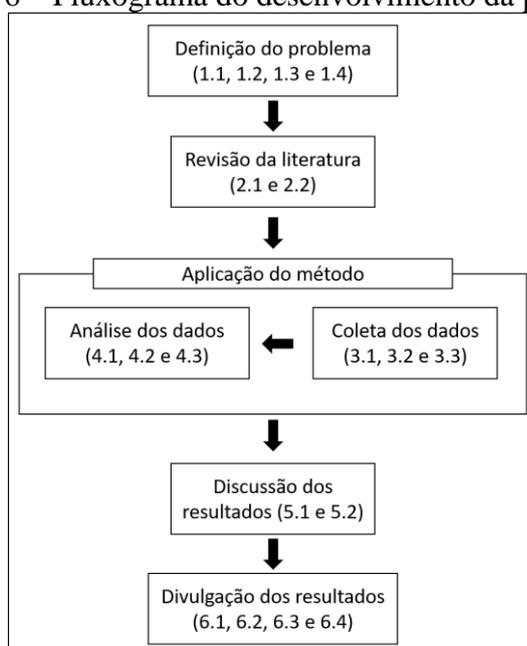
(PRODANOV; FREITAS, 2013). O estudo bibliométrico é um dos tipos de pesquisa bibliográfica existentes e foi utilizado na pesquisa realizada. Ele pode ser feito de diferentes formas, alterando os critérios de seleção dos documentos analisados.

A análise de conteúdo é feita a partir da interpretação subjetiva de dados textuais através de um processo sistemático de identificação de temas ou padrões. Esta análise permite a construção de conhecimento e a compreensão do tema ou fenômeno abordado. Assim, ela é recomendada para a obtenção de uma descrição mais ampla e condensada de um fenômeno cujo conhecimento é fragmentado (ELO; FORMAN; DAMSCHRODER, 2007; HSIEH; SHANNON, 2005; MOLDAVSKA; WELO, 2017).

3.2 FLUXOGRAMA

O fluxo metodológico desta pesquisa é composto por seis etapas, conforme apresentado na Figura 6. A primeira etapa é referente à definição do problema, da questão de pesquisa, objetivos e delimitação da pesquisa. A segunda etapa é referente à revisão da literatura e escrita do referencial teórico. A terceira etapa é referente à definição dos critérios de pesquisa e coleta de dados. A quarta etapa é referente à análise dos dados coletados. Já na quinta etapa os resultados foram discutidos e, por fim, na sexta etapa o texto final foi redigido.

Figura 6 – Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autor (2020).

Na primeira etapa foram definidos o tema, a questão de pesquisa, os objetivos a serem alcançados e os métodos para alcançá-los. Em seguida, durante a segunda etapa, foi realizada uma revisão da literatura sobre a PML e a escrita do referencial teórico.

A terceira etapa foi destinada à definição dos critérios de pesquisa e à coleta de dados. Foi definido que seriam estudados os artigos no idioma inglês, pelo fato de ser o idioma mais comumente utilizado pelo meio acadêmico (NUNHES; BERNARDO; OLIVEIRA, 2019). O termo de pesquisa “*Cleaner Production*” deveria estar presente nos títulos dos artigos, os quais deveriam ter sido publicados entre os períodos de 2014 a 31 de janeiro de 2020 e estarem disponíveis na plataforma de base de dados Scopus. Este período foi escolhido, por entender-se que se trata de artigos ainda atuais e que já conseguiram pulverizar conhecimento e influenciar o estado da arte nesse campo. O resumo dos critérios de busca utilizados neste estudo pode ser observado no Quadro 2 a seguir:

Quadro 2 – Critérios de busca de artigos

CRITÉRIOS DE BUSCA	ESCOLHAS
Base de Dados	<i>Scopus</i>
Palavra-Chave (Título)	" <i>Cleaner Production</i> "
Filtros	Idioma: Inglês
Período	01 de janeiro 2014 - 31 de janeiro 2020

Fonte: Autor (2020).

No estudo das patentes foi utilizada a plataforma *Orbit Intelligence*. Esta base de dados foi escolhida por reunir as patentes de mais de 100 escritórios de patentes ao redor do mundo, permitindo uma ampla análise do desenvolvimento de tecnologias relacionadas à PML. Para a seleção das patentes, a plataforma utiliza um sistema inteligente de sugestão de critérios de pesquisa a partir de tópicos informados pelo pesquisador. Foram escolhidos os tópicos “*cleaner production*”, “*clean technology*”, “*clean energy*” e “*pollution prevention*”, os quais foram utilizados em conjunto com os termos sugeridos pela plataforma (Quadro 3) como critério de seleção das patentes. Estes termos deveriam estar no título da patente ou na descrição do seu objetivo.

Quadro 3 – Critério de busca das patentes

PALAVRA-CHAVE	PALAVRAS ASSOCIADAS
<i>Cleaner Production</i>	<i>clean production; wastewater; environmental pollution; cleaning production; energy consumption; secondary pollution; wastewater treatment; environment contamination; emission reduction</i>
<i>Clean Technology</i>	<i>clean technology; contaminant; cleaning solution; removing contaminant; ultra clean technology; cleaning technology</i>
<i>Clean Energy</i>	<i>clean energy; energy source; solar energy; clean energy source; power generation; solar panel; wind energy; solar power generation; windpower generation; windpower; renewable energy source; renewable clean energy; clean energy development</i>
<i>Pollution Prevention</i>	<i>pollution prevention; contamination; environmental pollution; water pollution prevention; environmental pollution prevention; air pollution; air pollution prevention; water pollution; pollutant; pollution control; atmospheric pollution; air pollution prevention facility; groundwater contaminaton; anti-pollution</i>

Fonte: Autor (2020).

A partir desses critérios de pesquisa foram coletados 275 artigos, dos quais foram selecionados os 30 mais citados na base de dados Scopus. A tabela com estes artigos pode ser encontrada no Apêndice F. Estes foram base para a identificação das principais oportunidades de pesquisa e desafios de desenvolvimento do tema por meio da análise de seus conteúdos. Já por meio da plataforma *Orbit Intelligence* foram coletadas as informações de 97509 patentes que satisfizeram os critérios de busca.

Em seguida, durante a quarta etapa, foram realizadas diversas análises com os dados coletados. Com o software Excel foram construídas tabelas com os dez autores, países, instituições de pesquisa, instituições de financiamento e periódicos mais citados entre 2014 e 31 de janeiro de 2020 na área de PML, respeitando que cada um deles deveria ter ao menos três publicações na área. Os elementos foram ranqueados segundo os seus índices h no tema. Este índice tem o propósito de quantificar a produtividade, o impacto e a relevância de pesquisas científicas. Um índice h de N indica que o autor tem pelo menos N artigos com N citações em cada e nenhum dos seus demais artigos tem mais que N citações (HIRSCH, 2005). As tabelas estão disponíveis nos Apêndices de A - E no final deste trabalho.

Também foram identificados os países com maior número de patentes prioritárias relacionadas a PML. Normalmente as patentes prioritárias são registradas no país de origem de seu inventor, portanto, é uma boa métrica do nível de desenvolvimento de tecnologias de um país.

Em seguida, os quatro países com os maiores índices h no tema (Brasil, China, Estados Unido e Malásia) foram selecionados para o estudo de suas principais estratégias, políticas, iniciativas e estudos relacionados a PML dos seus setores governamentais, industriais e acadêmicos. Estes países foram escolhidos pois se destacam tanto no cenário técnico quanto no científico da PML e são referência no desenvolvimento de inovações e implementação da estratégia. Foi utilizada análise de conteúdo para sistematização destas informações a partir da análise das principais publicações de cada país neste tema, documentos oficiais, como relatórios de órgãos nacionais e internacionais, e páginas governamentais.

Por fim, foram identificadas as principais oportunidades científicas de desenvolvimento da PML e suas principais dificuldades de implementação a partir da análise de conteúdo dos 30 artigos mais citados selecionados na etapa 2. Em um segundo momento, as oportunidades e desafios foram agrupados formando clusters, os quais são discutidos na seção de Resultados e Discussões deste trabalho.

Após finalizadas as etapas 3 e 4, iniciou-se a discussão dos resultados. Nesta etapa, as principais práticas identificadas no cenário técnico-científico, as principais oportunidades de desenvolvimento e as maiores dificuldades da PML foram selecionadas e discutidas. Em seguida, o framework da PML foi formulado a partir das discussões dos resultados. Ela é composta por sugestões de iniciativas a serem adotadas pelos três setores da Tríplice Hélice com o objetivo de fomentar o desenvolvimento dessa estratégia. Por fim, na última etapa o texto final e as conclusões do trabalho foram redigidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CENÁRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO

Neste tópico é apresentado o atual cenário técnico-científico da PML dos países que se destacam quanto ao desenvolvimento de pesquisas no tema e aplicações práticas desta estratégia. Foram selecionados os 10 países mais citados na área de PML e ordenados segundo seus índices h (Apêndice A). As boas práticas dos quatro países com os maiores índices h (Brasil, China, Estados Unidos e Malásia) foram analisados. Serão apresentadas as principais ações, conquistas, pesquisas e políticas relacionadas a PML adotadas por seus governos, indústrias e comunidades científicas. Eles são referências em meios acadêmicos-científicos e em estratégias de aplicações da PML devido às iniciativas mapeadas e, portanto, irão servir de base para o framework de fomento desta estratégia.

4.1.1 Brasil

O Brasil é o país com o maior Índice h no tema PML (Índice h = 16). Ele foi um dos treze países, em conjunto com China, Croácia, República Tcheca, Hungria, Índia, México, Nicarágua, Eslováquia, Tanzânia, Tunísia e Zimbábue, que receberam os primeiros National Cleaner Production Centers (NCPC). O programa dos NCPCs foi criado em 1995 pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e pela UNEP. Tais centros têm a missão de facilitar a colaboração internacional entre empresas ao redor do mundo, compartilhar conhecimento, experiências e descobertas sobre técnicas e práticas para o uso de tecnologias limpas e dar suporte para as organizações que desejarem adotá-las (SEVERO et al., 2015; UNIDO/UNEP, 2015).

Assim, em 1995, com o apoio do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Brasil, foi fundado o Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Este foi responsável por criar a Rede Brasileira da Produção Mais Limpa (RBPML) em parceria com o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS). Ela foi construída por meio da criação de núcleos em diferentes regiões do Brasil para compor uma rede de organizações e profissionais dedicados a acelerar a transferência de informação e tecnologias limpas entre as empresas do país, prestando serviços especializados em PML (KIST et al., 2009; PEREIRA; SANT' ANNA, 2012; UNIDO/UNEP, 2015).

A RBPML criou um guia de implementação das práticas da PML com o propósito de incentivar sua adoção pelas empresas do país. Foi proposta uma metodologia dividida em 5 fases para o uso da PML: planejamento e organização, pré-avaliação, avaliação, estudo de viabilidade e implementação (CNTL et al., 2003).

Outra importante iniciativa foi a estruturação de fóruns estaduais sobre a PML pelo governo brasileiro com o propósito de articular uma política nacional da PML no país (BRAZIL, 2006). Em 2011 foi criado o Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis, uma política nacional com aspectos da PML existente até os dias atuais.

Os planos de ações formulados visam fomentar políticas, programas e iniciativas sustentáveis com o objetivo de ampliar as soluções dos problemas socioambientais do Brasil. Foram definidas ações e metas segmentadas em ciclos de 4 anos a partir de 2011, nas áreas de educação, políticas públicas, reciclagem de resíduos sólidos, varejo sustentável, construções sustentáveis e indústria sustentável, de forma a incentivar a prevenção da poluição como uma estratégia ambiental do país (BRAZIL, 2011). As estratégias de implementação são redefinidas ao fim de cada ciclo de acordo com a evolução das necessidades da economia brasileira.

As ações do primeiro ciclo (2011 a 2014) focaram na disseminação da cultura de consumo e produção sustentáveis. Foram realizados diversos processos formativos e de capacitação sobre o assunto. Foi criada uma Agenda Ambiental na Administração Pública, onde cerca de USD 3,53 bilhões foram investidos em planos de resíduos sólidos e em infraestrutura, enquanto foram formados diversos programas e parcerias entre o setor público e o setor privado (BRAZIL, 2014). As ações do segundo ciclo de implementação (2016 a 2020) só serão publicados em 2021 após o fim desse ciclo.

O contexto acadêmico-científico brasileiro se destaca por desenvolver trabalhos internacionalmente influentes sobre a PML. Os trabalhos publicados no Brasil obtiveram o maior número de citações (548) entre 2014 e janeiro de 2020 no Scopus. Artigos de autores, universidades e fundos de financiamento brasileiros também estão entre os mais citados mundialmente neste tema, os quais serão apresentados a seguir.

Dentre os 10 autores mais citados sobre a PML, seis são brasileiros (Apêndice B). A Prof^a. Dr. Severo E. A. da Universidade de Potiguar é a autora brasileira com o maior Índice h (6) entre os 10 autores mais citados no tema na Scopus. O Prof. Dr. Ometto, A. R. da Universidade de São Paulo obteve o quarto maior Índice h (3) também entre os 10 autores mais citados, empatando com o Prof. Dr. Dorion, E. C. H. da Universidade de Caxias do Sul,

o Prof. Dr. Giannetti, B. F. da Universidade Paulista e o Prof. Dr. de Guimarães, J. C. F. da Universidade de Potiguar. O último autor brasileiro que se destaca é o Prof. Dr. Agostinho F. da Universidade Paulista, com o menor Índice h (2) dos 10 autores mais citados no tema.

Entre os 30 artigos sobre PML mais citados entre 2014 e janeiro de 2020, seis têm como autor ou coautor os pesquisadores brasileiros de destaque (Apêndice B). A Prof. Dra. Severo, o Prof. Dr. Dorion e o Prof. Dr. de Guimarães estudaram a aplicação conjunta da PML com práticas de gestão ambiental e os seus respectivos impactos na performance organizacional de empresas brasileiras no 5º e 8º artigos mais citados (SEVERO et al., 2015; SEVERO; GUIMARÃES; DORION, 2017). O Prof. Dr. Ometto estudou o impacto da ISO 14001 nas práticas de PML no 20º artigo mais citado (DE OLIVEIRA et al., 2016) e a implementação das melhores práticas em um processo produtivo de papel no 28º artigo mais citado (SILVA et al., 2015). Por fim, o Prof. Dr. Agostinho e o Prof. Dr. Giannetti realizaram a análise dos artigos publicados no workshop internacional de avanços sobre o tema em voga no 9º e 27º artigos mais citados (ALMEIDA et al., 2015, 2017).

O Prof. Dr. Giannetti, B. F tem uma extensa experiência nessa área de estudo. Ele é cofundador da Rede Avanços em Produção Mais Limpa, um fórum internacional de troca de informações e resultados de pesquisas sobre tecnologias, conceitos, políticas, etc sobre PML (ACPN, 2020). Giannetti também compõe o corpo editorial do periódico Journal of Cleaner Production (JCP) e é editor associado do Journal of Environmental Accounting and Management (FAPESP, 2020).

Quanto aos 10 institutos de ensino e pesquisa mais citados na área de PML e ordenados segundo seus Índice h, 4 são brasileiros (Apêndice C): Universidade de São Paulo (USP) (Índice h 7 – 1ª posição), Universidade de Caxias do Sul (UCS) (Índice h 4 – 3ª posição), Universidade Paulista (UNIP) (Índice h 4 – 4ª posição) e Instituto Meridional (IMED) de Passo Fundo (Índice h 3 – 10ª posição).

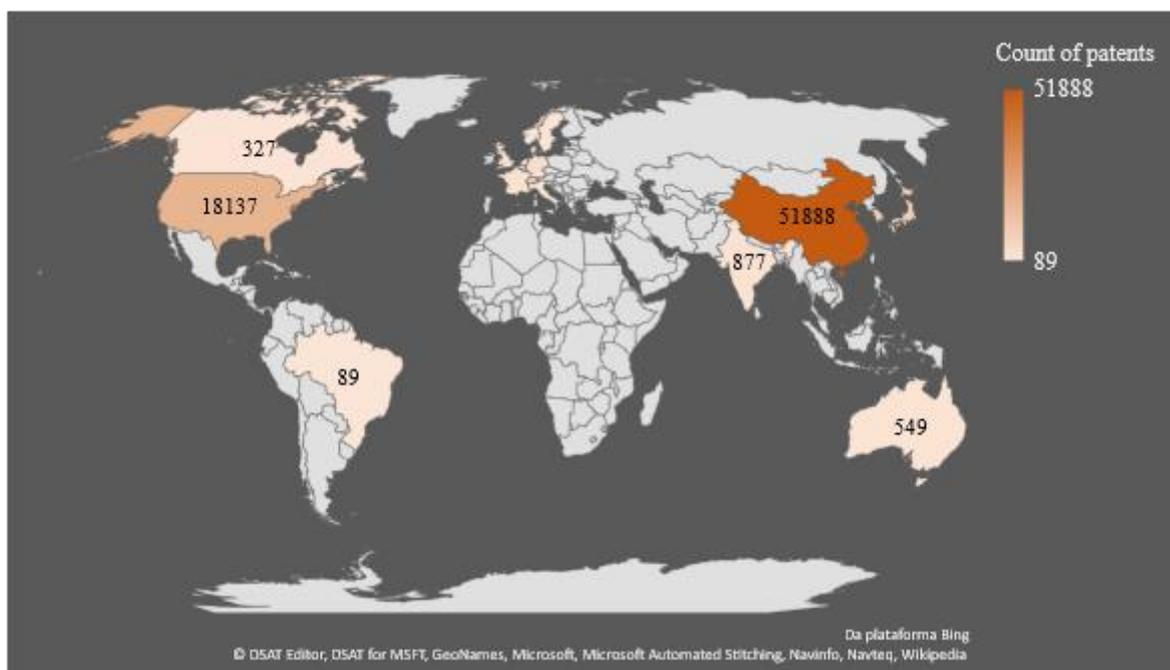
A UNIP se destaca por ter o Laboratório de Produção e Meio Ambiente (LaProMA) dedicado a estudos sobre PML (UNIP, 2020). O LaProMA é uma das entidades fundadoras e organizadoras do Workshop Internacional sobre Avanços em Produção Mais Limpa em conjunto com o JCP. Este é um dos maiores eventos internacionais nessa área e ocorre anualmente, reunindo alguns dos principais pesquisadores do tema.

Entretanto, apesar das iniciativas de promoção e desenvolvimento da PML articuladas pelo governo brasileiro e do destaque dos pesquisadores brasileiros no contexto global, existe no país uma falta de integração entre as universidades e o governo; e uma notória ausência de

políticas públicas que incentivem a adoção dessa estratégia. Fato esse que gerou poucos resultados práticos quanto à adoção da PML pelas empresas brasileiras. Com isso, observam-se dificuldades significativas para o estabelecimento de parcerias entre universidades/centros de pesquisas e empresas (GODINHO FILHO; OLIVEIRA NETO; SHIBAO, 2016; PEREIRA; SANT'ANNA, 2012), o que leva o Brasil a desenvolver menos tecnologias limpas do que os países líderes em inovação nessa área. Este fato pode ser constatado pelo número de patentes prioritárias relacionadas à PML do país.

O Brasil está na vigésima posição entre os 20 países que mais desenvolvem patentes nesta área (Figura 7), mostrando que, apesar de se destacar em outros aspectos da PML, o país ainda está longe dos que ocupam o topo desse ranking. O Brasil tem 500 vezes menos patentes do que a China e 200 vezes menos que os Estados Unidos. Na Figura 7 é possível observar o número de patentes desenvolvidas pelos países por meio da intensidade da cor, ou seja, quanto mais escura a cor que representa o país, maior a quantidade de patentes.

Figura 7 - Os 20 países com mais patentes prioritárias relacionadas à PML (2000 – 2020)



Fonte: Orbit Intelligence (2020).

Com isso, apesar da comunidade acadêmico-científica brasileira se destacar mundialmente na área de PML, ainda faltam iniciativas efetivas que promovam sua adoção em organizações públicas e privadas e iniciativas de incentivo ao desenvolvimento de soluções e tecnologias limpas no país.

4.1.2 China

A China é o país com o segundo maior Índice h no tema (Índice h = 14). Seu intenso processo de industrialização gerou severos problemas ambientais, os quais são um grande desafio para o país solucionar (PENG; LIU, 2016). A poluição do ar, perdas de biodiversidade, poluição do solo, poluição e escassez de água, e alta geração de resíduos são alguns dos desafios que têm causado à China graves perdas econômicas, danos sociais e elevados custos com saúde (KAN; CHEN; TONG, 2012; LI et al., 2014; LIU; DIAMOND, 2005; LU et al., 2015).

Ao identificar a gravidade da crise ambiental em que o país se encontrava, o governo chinês iniciou um intenso processo de combate à poluição (LIU; DIAMOND, 2005). Entre 1978 e 2015, a China investiu USD 378,5 bilhões em 16 programas de sustentabilidade, sendo a maior parte investida nos últimos 20 anos (JINGTAO, 2019). Na tentativa de tornar sua matriz energética mais limpa, a China foi o país que mais investiu em energia renovável entre 2010 e 2019 no mundo (AJADI et al., 2019).

A PML se mostrou uma importante solução para a prevenção e redução dos impactos ambientais gerados pelas indústrias na China (PENG; LIU, 2016). Diversas agências do governo fomentam pesquisas sobre o tema com o objetivo de ampliar e intensificar a adoção de práticas da PML (CHANGBO et al., 2015).

A China também foi um dos 13 países que receberam os primeiros NCPCs. O governo chinês promoveu a abertura de Centros Regionais de PML e Centros Empresariais de PML a partir de 1994 com o objetivo de disseminar em todo o país as práticas dessa estratégia. Até 2012 foram abertos 22 centros em diversas províncias, os quais tiveram um papel importante na busca pelo desenvolvimento sustentável chinês (CHANGBO et al., 2015; PENG; LIU, 2016; UNIDO; UNEP, 2015).

Entre 1992 e 2002, o governo chinês promulgou leis regulando e incentivando a adoção da PML entre suas empresas. Dentre elas, a “Cleaner Production Promotion Law” de 2002 se destaca como o primeiro caso entre os países em desenvolvimento de adoção de uma legislação específica sobre PML (CHANGBO et al., 2015; SHI et al., 2008).

Nesta lei, diversas políticas foram definidas visando a inclusão das práticas de PML nos planos e programas nacionais a partir de incentivos fiscais, suporte ao desenvolvimento de pesquisas e tecnologias limpas, parcerias com instituições internacionais, entre outras ações (NPC, 2002). A aplicação da PML se provou mais eficiente do que as abordagens

convencionais de fim de tubo de controle de poluição, as quais são focadas na gestão da poluição apenas depois de geradas (SHI et al., 2008).

A Cleaner Production Promotion Law estabeleceu auditorias obrigatórias para três categorias de empresas: empresas que excediam os padrões nacionais e/ou locais de geração de poluição, empresas em que a taxa de consumo de energia por unidade produzida excedia os limites definidos pelo governo e todas as empresas que usassem ou produzissem materiais tóxicos e perigosos. Assim, ao contrário das estratégias da maioria dos outros países onde a PML tinha sido promovida de forma voluntária, as auditorias obrigatórias se tornaram o centro das políticas de combate à poluição chinesas (BAI et al., 2015; PENG; LIU, 2016; ZHANG; YANG; BI, 2013).

Dessa forma, a China é um caso de sucesso na adoção das práticas de PML entre os países em desenvolvimento (PENG; LIU, 2016). Os avanços da PML no país chamam a atenção da comunidade acadêmica-científica mundial, onde os trabalhos chineses foram os mais citados nos últimos anos (565 citações).

Assim, é evidente que o governo chinês financia o desenvolvimento de pesquisas sobre PML. Entre os 10 institutos que mais obtiveram citações nos artigos publicados por seus pesquisadores nessa área, dois são chineses: Ministry of Education (Índice h 4 - 5ª posição) e Wuhan University of Technology (WUT) (Índice h 3 - 9ª posição) (Apêndice D).

A WUT é referência em pesquisa na China, contando com 34 centros de pesquisa. Laboratórios de engenharia, desenvolvimento de materiais, logística, mecatrônica, tecnologia da informação e tecnologia ambiental estão entre os centros desenvolvidos pelo governo chinês. Ao mesmo tempo, a universidade tem cerca de 230 centros de pesquisa em parceria com empresas locais (WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2020).

Todo o investimento feito pelas instituições de pesquisa e pelo governo chinês também refletiu no nível de desenvolvimento de tecnologias limpas no país. A China é o país com mais patentes (Figura 4), 51888 no total, superando em quase 3 vezes os Estados Unidos, que é o segundo país com mais patentes nessa área (18137).

Assim, movidos pelas pressões geradas face aos graves problemas socioambientais de seu país, o governo e a sociedade chinesa vêm adotando iniciativas para promover a redução da poluição gerada pelas suas indústrias, aumentar a eficiência ambiental de seus processos e adotar uma matriz energética limpa (HONG; LI, 2013). Nesse contexto, a PML destaca-se como uma importante estratégia para o desenvolvimento sustentável da China. As diversas iniciativas de promoção de suas práticas e as parcerias entre o governo, indústria e academia

chinesas geraram importantes conquistas e avanços na área (CHANGBO et al., 2015).

4.1.3 Estados Unidos

Os Estados Unidos são o país com o terceiro maior Índice h em PML (Índice h = 10). A elevada industrialização do país o tornou um dos países mais poluidores do mundo (US EPA, 2020a). Com isso, percebeu-se a importância de tratar os impactos ambientais e prevenir a geração de poluição antes mesmo do conceito de PML surgir. Entre os anos 70 e 90, diversas leis ambientais foram promulgadas pelo governo americano regulando as principais práticas que vinham causando a poluição do solo, ar e água do país (MILLER et al., 2008). Entretanto, muitas delas ainda apresentavam uma abordagem de fim de tubo, sendo direcionadas para o controle, tratamento e descarte da poluição apenas depois de gerada (BURNETT, 1998; MILLER et al., 2008).

Foram as empresas privadas americanas que tiveram um importante papel no desenvolvimento de estratégias focadas na prevenção à poluição nos Estados Unidos, que posteriormente se tornaram a base das políticas ambientais do país. A grande multinacional 3M se destacou ao criar a estratégia Pollution Prevention Pays (3P) em 1975, a qual foi amplamente adotada por diversas outras empresas.

A 3P promove a prevenção da poluição através da redução de desperdícios na fonte, com a adoção de novas tecnologias, mudanças em processos e em matérias-primas e estabelece um programa de incentivo aos funcionários para que sugiram e implementem soluções para redução dos impactos ambientais gerados pelas empresas. Na 3P as melhorias devem garantir retorno financeiro ao reduzir custos com desperdícios e controle de poluição (MILLER et al., 2008; OCHSNER; CHESS; GREENBERG, 1995).

A 3P e as demais iniciativas de prevenção da poluição foram intituladas de várias maneiras no Estados Unidos, entre elas estão *waste minimization*, *waste reduction*, *cleaner production* e *pollution prevention*. Entretanto, este último também conhecido como P2 foi o mais adotado no país (MILLER et al., 2008).

A Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA) é o principal órgão governamental dos Estados Unidos responsável pela proteção do meio ambiente americano. Ela foi criada em 1970 e desde então desenvolve e fiscaliza a aplicação de leis ambientais e incentiva a pesquisa de soluções sustentáveis para os problemas ambientais do país (US EPA, 2020b).

Em 1990 a EPA promulgou o *Pollution Prevention Act*, oficializando a prevenção da poluição na fonte (P2) como estratégia oficial do governo americano em contraposição às estratégias de fim de tubo. Foram definidas estratégias com foco na indústria, governo e sociedade para a redução na geração de poluição por meio de mudanças rentáveis na produção, operação e utilização de matéria-prima (HARRINGTON, 2013; US EPA, 2020c).

Assim, os Estados Unidos conquistaram diversos avanços na redução da poluição gerada pelas suas empresas. Entre 1991 e 2012, o EPA conduziu cerca de 370.000 projetos de prevenção da poluição através do Toxic Release Inventory (TRI) Program em diversas indústrias americanas. Estima-se que cada um destes projetos reduziu a emissão de produtos químicos de 9% a 16% ao ano, totalizando uma prevenção de geração de 5 a 6,35 bilhões de quilos em rejeitos químicos (RANSON et al., 2015).

Shapiro and Walker (2018) fizeram um estudo sobre as emissões de poluição do ar proveniente das atividades industriais no país entre 1990 e 2008. Ficou constatado que, apesar de as taxas de produção das empresas terem aumentado em um terço, as emissões caíram 60%. As ações de prevenção das agências do governo, a regulação dos impactos ambientais industriais e o aumento da eficiência dos processos de manufatura foram as principais razões para esse declínio.

Na área acadêmico-científica, um importante pesquisador americano se destaca como o segundo autor com maior Índice h (Índice h = 4) entre os 10 autores mais citados nessa área, o Prof. Dr. Donald Huisingh. Ele tem uma vasta experiência no tema, pois durante sua vida ele apoiou a implementação de práticas de PML em mais de 300 organizações e também fundou o JCP, sendo atualmente Editor-in-Chief Emeritu do periódico (ELSEVIER, 2020a).

O JCP é um dos principais periódicos na área de PML. Criado em 1993, ele atua como uma plataforma para promoção, discussão teórica e prática dos avanços e aplicações das práticas de PML ao redor do mundo. Esse periódico concentra muitas produções acadêmicas nessa área de pesquisa. Dentre os 30 artigos mais citados no período estudado e disponíveis na Scopus, 29 foram publicados nele (ELSEVIER, 2020b).

Quanto aos 10 institutos de pesquisa que publicaram os artigos mais citados na área de PML, 2 são americanos (Anexo B): University of Tennessee (UT) (Índice h 3 – 6ª posição) e Illinois Institute of Technology (IIT) (Índice h 2 – 8ª posição). A UT concentra importantes centros de pesquisa, onde na área de PML, se destaca o Institute of Secure & Sustainable Environment (ISSE). Ele foi criado com o objetivo de promover o desenvolvimento de

políticas, tecnologias e programas educacionais em resposta às questões ambientais enfrentadas pelo mundo (ISSE, 2020).

O IIT é o segundo instituto americano que se destaca. Os estudos sobre a PML realizados entre 2014 e janeiro de 2020 pelo IIT foram conduzidos pela Stuart School of Business. Esta escola de negócios desenvolveu o projeto *Pathways to Cleaner Production in the Americas*, em que foram feitas parcerias entre institutos de pesquisa e empresas de oito países do continente americano (Estados Unidos, Costa Rica, República Dominicana, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicarágua e Peru). O objetivo do projeto foi promover e facilitar a adoção de práticas sustentáveis nestes países (ASHTON et al., 2017; MCPHERSON et al., 2016).

Suas principais ações foram o fortalecimento do ensino das práticas da PML na educação superior, a sensibilização de micro, pequenas e médias empresas quanto aos benefícios da PML, condução de implementação da PML em empresas parceiras do projeto, criação de um fórum de colaboração e troca de conhecimento entre os institutos parceiros do programa (ASHTON et al., 2017; MCPHERSON et al., 2016).

É possível observar na Figura 4, que os Estados Unidos são o segundo país com mais patentes relacionadas a PML entre 2000 e 2020. Portanto, a prevenção da poluição nos Estados Unidos é promovida por programas nacionais, estaduais e locais. Além de iniciativas privadas como a 3P e pesquisas científicas dos institutos de pesquisa (MILLER et al., 2008). Assim, é possível verificar que as iniciativas públicas e privadas na prática da prevenção de poluição, unidas as pesquisas de seus centros de pesquisa, fizeram dos Estados Unidos uma potência em desenvolvimento de tecnologias limpas.

4.1.4 Malásia

A Malásia é o quarto país com o maior Índice h no tema (Índice h = 8). A sua economia era baseada na exportação de *commodities* até a década de 1980, quando se deu o início de sua industrialização (AUYONG; CHIN, 2019; RAHIM; RAMAN, 2015; THE WORLD BANK, 2019). O crescimento médio do PIB da Malásia foi de 9% ao ano entre 1996 e 1998 devido às políticas de incentivo à indústria nacional, infraestrutura e expansão urbana (MUYIBI; AMBALI; EISSA, 2008; RAHIM; RAMAN, 2015; THE WORLD BANK, 2020).

O crescimento do setor manufatureiro da Malásia expôs o país a diversos problemas ambientais. Alguns estudos mostram a depleção das reservas de pesca, a poluição do ar, a

poluição da água, a poluição do solo e a geração de resíduos industriais como sendo os principais desafios enfrentados no país (ABDULLAH, 1995; AFROZ; HASSAN; IBRAHIM, 2003; MUYIBI; AMBALI; EISSA, 2008; POON et al., 2016; RANI et al., 2018).

Com a identificação desses problemas ambientais, o governo tomou iniciativas para combatê-los. Logo no início da industrialização da Malásia, seu governo promulgou o Environmental Quality Act (1974), marcando o início dos esforços do país na gestão ambiental de suas empresas. Ela visa regular medidas de prevenção, redução e controle da poluição da indústria (ABDULLAH, 1995).

Alguns anos depois, em 1976, foi criado o Departamento do Meio Ambiente (DOE) no Ministério de Recursos Naturais e do Meio Ambiente. Este é responsável por garantir o desenvolvimento sustentável e a manutenção de um meio ambiente seguro, limpo e saudável. O DOE apoia e fiscaliza os setores da sociedade na adoção de medidas sustentáveis (ABDULLAH, 1995; DOE, 2020; YUSUP et al., 2014).

O DOE adotou a PML em 2002 como prática de prevenção da poluição a ser empregada nas indústrias malaias. As primeiras medidas e projetos de PML foram direcionadas às pequenas e médias empresas, pois estas formam a maior parte do setor industrial do país (RAHIM; RAMAN, 2015; YUSUP et al., 2014).

A partir dessa iniciativa, pesquisadores da Universidade de Tecnologia da Malásia foram selecionados para formular um programa nacional para a promoção das práticas de PML no país. Os estudos resultaram no “Cleaner Production Blueprint for Malaysia”, o qual foi publicado em 2007. Este documento delinea o plano nacional de promoção da PML da Malásia, definindo estratégias para desenvolvimento do conceito e práticas de PML e a difusão de tecnologias limpas entre as empresas do país (DOE, 2007; YUSUP et al., 2014).

As principais ações propostas neste Plano englobam a disseminação de informação e capacitação de profissionais para apoiar a adoção de práticas de PML, diretrizes para treinamento, realização de auditorias, incentivos fiscais a empresas e incentivo a centros de pesquisa de tecnologias limpas. Ainda em 2007, o DOE publicou o “Cleaner Production Audit Guidelines” padronizando e promovendo as auditorias de PML no país (YUSUP et al., 2014).

Poucos anos depois, em 2009, o Ministério da Energia, Tecnologia Verde e Água promulgou uma nova política nacional, o National Green Technology Policy. Ela define políticas de incentivo ao uso de tecnologias limpas voltadas a quatro aspectos: energéticos, ambientais, econômicos e sociais. Em continuidade a essa política, em 2017 foi lançado o Green Technology Master Plan Malaysia, definindo objetivos a serem alcançados até 2030

nas dimensões de energia, manufatura, transporte, construção civil, desperdícios e água, visando a utilização sustentável dos recursos naturais (MINISTRY OF ENERGY GREEN TECHNOLOGY AND WATER, 2017; YUSUP et al., 2014).

Nesse contexto, as universidades da Malásia têm conduzido pesquisas de destaque internacional na área da PML. Os artigos gerados por estas pesquisas foram citados 264 vezes. Dois pesquisadores malaios estão entre os dez autores mais citados na área de PML (Apêndice B): Prof. Dr. Lai Fatt Chuah (Índice h 3 – 6ª posição) e a Prof. Dra. Suzana Yusup (Índice h 3 – 7ª posição).

O Prof. Lai Fatt Chuah é PhD em Engenharia Química pela Universidade Tecnológica de Petronas (UTP). Seus estudos visam o desenvolvimento e aplicação de novas matérias-primas e processos produtivos na produção de biodiesel. A outra pesquisadora de destaque é a Prof. Dra. Suzana Yusup, engenheira química também filiada à UTP. Ela fundou o Laboratório de Processamento de Biomassa e pesquisa Tecnologias Verdes na universidade, desenvolvendo novos processos de utilização de biomassa e por meio de materiais limpos.

Assim, com dois autores de relevância internacional filiados a UTP, essa instituição se destaca como a segunda universidade com maior Índice h (5) entre os 10 institutos de pesquisa que obtiveram mais citações nos trabalhos sobre PML. A outra universidade do país que se destaca é a Universidade da Malásia (UM), com um Índice h de 3 e ocupando a 7ª posição entre as 10 instituições de pesquisa.

Dessa forma, apesar de ser um país novo e com uma industrialização recente, a Malásia alcançou um forte crescimento econômico pautado no uso de seus recursos naturais renováveis para alavancar sua manufatura. Assim, para garantir um sucesso duradouro, o governo do país percebeu que o desenvolvimento sustentável deveria ser uma de suas metas. As políticas de promoção da produção mais limpa adotadas fizeram da Malásia um exemplo de que políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável são essenciais para promover o crescimento verde do país (YUSUP et al., 2014).

4.2 OPORTUNIDADES DE PESQUISA

Neste tópico estão as análises das oportunidades científicas para o desenvolvimento da PML. As oportunidades científicas foram agrupadas de acordo com a afinidade entre elas, originando os *clusters* apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Clusters das oportunidades de desenvolvimento da PML

CLUSTERS	OPORTUNIDADES DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO	ARTIGOS
1. Incentivo a adoção da PML	Estudo dos fatores que motivam os diversos setores da indústria e sociedade a adotarem a PML.	Long, J. J. et al. (2014); Van Hoof, B. (2014); Almeida, C.M.V.B. et al. (2015); Henriques, J. and Catarino, J. (2015); Khalili, N.R. et al. (2015); Wesseh, P.K., Lin, B. (2015); Severo, E.A., Guimarães, J.C.F.D., Dorion, E.C.H. (2017); Hens, L. (2018).
2. Tecnologias Limpas	Desenvolvimento de tecnologias que permitam eliminar, reduzir ou reutilizar os resíduos gerados por empresas.	Bokhari, A. et al. (2016); Jakrawatana, N., Pingmuangleka, P., Gheewala, S.H. (2016); Yong et al. (2016); Severo, E.A., Guimarães, J.C.F.D., Dorion, E.C.H. (2017); Hens, L. (2018).
3. Novos produtos e processos	Desenvolvimento de produtos verdes que sejam mais facilmente recicláveis, reutilizáveis ou degradáveis; e projeto de processos mais eficientes que reduzam a poluição e desperdícios gerados.	Hayyan, A. et al. (2014); Silva, D.A.L. et al. (2015); Yilmaz, O., Ançtil, A., Karanfil, T. (2015); Chuah, L.F. et al. (2016); Bokhari, A. et al. (2016); Dahunsi, S.O., Oranusi, S., Efeovbokhan, V.E. (2017); Mia, M. et al. (2018); Deutz, S. (2018).
4. Novas ferramentas e metodologias	Elaboração de metodologias de implementação da PML adaptadas às realidades de diferentes países e setores empresariais.	Jia, L. et al. (2014); Long, J. J. et al. (2014); De Oliveira, J.A. et al. (2016); Ozturk, E. et al. (2016); Almeida, C.M.V.B. et al. (2017); Fréon, P. et al. (2017).
5. Energia renovável	Promoção nacional de matrizes energéticas limpas e incentivos à utilização de energia renovável em empresas.	Sáez-Martínez, F.J. et al. (2016); Scarazzato, T. et al. (2017).
6. Barreiras da PML	Identificação das dificuldades enfrentadas pelas empresas durante a implementação da PML e proposição de soluções para estas.	Silvestre, B.S., Silva Neto, R.E. (2014); Ortolano, L. et al. (2014); Almeida, C.M.V.B. et al. (2015); Severo, E.A. et al. (2015); Govindan, K., Madan Shankar, K., Kannan, D. (2016); De Oliveira, J.A. et al. (2016).

Fonte: Autor (2020).

As TLs e as práticas de PML têm sido disseminadas de forma difusa e vagarosa em muitos países, apesar de seus diversos benefícios já comprovados (BONILLA et al., 2010). Portanto, é necessário o incentivo ao desenvolvimento de ações sustentáveis e o estudo dos fatores que motivam as empresas a adotá-las, sendo esse o primeiro *cluster* identificado na literatura.

A performance ambiental das empresas industriais deve ser medida para que as oportunidades de melhoria sejam identificadas. Para isso, incentiva-se a formação de parcerias empresa-universidade. Conforme Almeida et al. (2017), isto facilita o projeto e aplicação prática de ferramentas e tecnologias desenvolvidas por pesquisadores.

O uso de tecnologias para o controle e minimização da poluição em processos de

manufatura possibilita a redução de seus impactos ambientais e gera vantagem competitiva para as empresas. Entretanto, Young et al. (2016) afirmam que alguns equipamentos para o controle da poluição são caros, complexos e não possuem um *design* adequado para o processo, dificultando sua utilização. Assim, é destacada a importância do desenvolvimento de novas tecnologias, processos e produtos limpos adequados às reais necessidades das empresas.

Severo, Guimaraes e Dorion (2017) dizem que há uma correlação entre o tamanho das empresas e a facilidade para a implementação das práticas de PML. Normalmente, empresas de médio e grande porte têm mais condições de investirem recursos financeiros em pesquisa e desenvolvimento de processos limpos, produtos sustentáveis e novas metodologias e ferramentas de PML. Já as empresas de pequeno porte apresentam maiores dificuldades para esse tipo de promoção.

Sendo assim, é possível observar oportunidades de pesquisas na área de desenvolvimento de novas tecnologias (Cluster 2) incentivando a implementação de ações PML em empresas de diversos portes e setores (Cluster 1). É necessário adequar as novas tecnologias aos processos de produção dos variados setores de empresas (BOKHARI et al., 2016) de maneira a eliminar, minimizar ou reutilizar os resíduos gerados.

Ainda visando processos mais eficientes e produtos mais recicláveis, reutilizáveis e degradáveis, foram identificadas oportunidades de pesquisas para o desenvolvimento de produtos sustentáveis (Cluster 3). A substituição de matérias primas de produtos e a melhoria dos processos de produção (CHUAH et al., 2016; DEUTZ et al., 2018; HAYYAN et al., 2014), a alteração de propriedades químicas dos materiais (DAHUNSI; ORANUSI; EFEVBOKHAN, 2017; MIA et al., 2018) e uso de procedimentos e métodos mais eficientes de produção (BOKHARI et al., 2016) são importantes iniciativas que podem ser empregadas no desenvolvimento da PML nas indústrias e que podem ser desenvolvidas a partir de pesquisas científicas.

Também foi identificada a oportunidade de elaborar novas ferramentas e métodos que permitam a elaboração de abordagens para desenvolvimento da PML adaptadas às realidades de diferentes países e setores empresariais (Cluster 4) (HENRIQUES; CATARINO, 2015; JIA et al., 2014). A obtenção da certificação ISO 14001 é uma das maneiras de fomentar o desenvolvimento de ações de PML (DE OLIVEIRA et al., 2016). A ISO 14001, por exemplo, promove uma cultura ambientalmente amigável nas empresas ao incorporar a preocupação com os impactos ambientais no dia a dia dos funcionários e auxiliar a alocação de recursos

para a tomada de decisão voltadas à gestão ambiental, facilitando a adoção das ações de PML.

Outra oportunidade de desenvolvimento científico é a realização de estudos sobre a promoção nacional de matrizes energéticas limpas e a utilização de energia renovável em empresas (Cluster 5). Sáez-Martínez et al. (2016) afirmam que o desenvolvimento de técnicas mais promissoras para extrair o máximo da energia disponível em matéria orgânica, a substituição de combustível fóssil por renovável e a otimização das matrizes energéticas limpas são importantes melhorias que permitem minimizar os custos de uso de energia e facilitam a adoção de energias renováveis. Assim, é essencial o desenvolvimento de novas estratégias de incentivo ao uso de fontes de energias alternativas que causem menos impactos negativos ao meio ambiente (SCARAZZATO et al., 2017).

Verificou-se também a necessidade de identificar as dificuldades que são enfrentadas pelas empresas durante a implementação da PML e propor soluções para estas (Cluster 6) (SEVERO et al., 2015). Isso é possível por meio da análise das barreiras enfrentadas pelos diversos setores industriais (GOVINDAN; SHANKAR; KANNAN, 2016; ORTOLANO et al., 2014; SILVESTRE; NETO, 2014), análise dos impactos ambientais, econômicos e sociais provenientes da implementação de ações de PML (SEVERO et al., 2015) e análise dos resultados das novas tecnologias e ferramentas empregadas visando redução dos impactos ambientais (HENRIQUES; CATARINO, 2015).

4.3 DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA PML

A identificação e a sistematização dos desafios realizados nesta pesquisa têm como finalidade proporcionar uma visão geral das questões que mais impedem o desenvolvimento da PML. Assim como as oportunidades de pesquisa, os desafios foram agrupados segundo suas similaridades, originando o Quadro 5.

Quadro 5 - Clusters dos desafios para o desenvolvimento da PML

(continua)

CLUSTERS	DESAFIOS DE DESENVOLVIMENTO	ARTIGOS
1. Legislação e Políticas	Falta de legislações e políticas eficientes de incentivo a PML	Almeida, C.M.V.B. et al. (2015); Khalili, N.R. et al. (2015); Dahunsi, S.O., Oranusi, S., Efeovbokhan, V.E. (2017); Almeida, C.M.V.B. et al. (2017); Severo, E.A., Guimarães, J.C.F.D., Dorion, E.C.H. (2017)

(conclusão)

CLUSTERS	DESAFIOS DE DESENVOLVIMENTO	ARTIGOS
2. Gestão da Cadeia de Suprimentos	Complexidade da integração de práticas sustentáveis ao longo da cadeia de suprimentos e sua gestão	Van Hoof (2014); Almeida, C.M.V.B. et al. (2015); Khalili, N.R. et al. (2015)
3. Inovação e Cultura Organizacional	Falta do engajamento da alta administração na implementação de uma cultura organizacional ambientalmente inovadora	Henriques e Catarino (2015), Silvestre e Silva Neto (2014)

Fonte: Autor (2020).

O primeiro desafio identificado é a falta de legislações e políticas de incentivo às práticas da PML em alguns países. O desenvolvimento de uma política macroeconômica focada na formulação de uma agenda de adoção da PML é essencial para o desenvolvimento sustentável dos países devido aos importantes papéis dos governos e das indústrias no combate aos problemas socioambientais. Entretanto, regulações estatais voltadas à proteção dos interesses sociais e ambientais da sociedade ainda vêm sendo adotadas lentamente; e muitas vezes verifica-se a falta de articulação do setor público com os setores privados para adoção de regras que sejam efetivamente adequadas à realidade da indústria. As legislações de muitos países em desenvolvimento ainda são pautadas em práticas de fim de tubo, apesar dos resultados positivos das estratégias de prevenção de poluição (ALMEIDA et al., 2015; KHALILI et al., 2015).

Assim, os governos devem se empenhar em desenvolver estratégias focadas em gerir os riscos ambientais e ecológicos associados às atividades industriais de seus países (KHALILI et al., 2015). Os governos devem se organizar para que as práticas de PML possam ser estimuladas e não inibidas por burocracias que dificultem sua execução (HENS et al., 2018; WESSEH JR; LIN, 2015).

O segundo desafio identificado é referente à gestão da cadeia de suprimentos. Os esforços em disseminar práticas sustentáveis e a PML através das empresas integrantes da cadeia de suprimentos têm ganhado força (KHALILI et al., 2015). Entretanto, a complexidade da gestão da cadeia de suprimento em diferentes realidades têm exigido alto nível de inovação na busca pela redução conjunta do desperdício de materiais e energia ao longo da cadeia, principalmente em países emergentes (ALMEIDA et al., 2015, 2017).

Assim, iniciativas de economia circular como a logística reversa e cadeia de suprimentos fechada são estratégias que podem ser associadas à PML para superar essas

barreiras Elas incentivam o planejamento, implementação e controle de práticas de gestão do fluxo de matéria-prima focando na diminuição dos impactos ambientais dos produtos e processos da empresa ao longo de seus ciclos de vida (GOVINDAN; SHANKAR; KANNAN, 2016; GOVINDAN; SOLEIMANI, 2017).

O terceiro desafio está relacionado à Cultura Organizacional e Inovação. A implementação da PML requer inovações em aspectos tecnológicos, operacionais, gerenciais e estratégicos. Entretanto, as empresas têm dificuldades em desenvolver uma cultura organizacional voltada para inovações ambientais devido à falta de suporte dos gerentes, resistências dos colaboradores à mudança e falta de regulação governamental (HENRIQUES; CATARINO, 2015). A transição para uma cultura ambientalmente inovadora requer esforços da alta administração das empresas, pois ela é responsável pela identificação de oportunidades de implementação das práticas de PML e pela motivação dos funcionários e deve estar engajada na busca pela inovação (SILVESTRE; NETO, 2014).

4.4 FRAMEWORK DE DESENVOLVIMENTO DA PML

O framework proposto (Quadro 6) sistematiza sugestões de iniciativas a serem adotadas pelas entidades que compõem a Tríplice Hélice para a promoção da PML. As iniciativas do framework são baseadas na análise crítica das principais ações adotadas nos países líderes apresentadas no cenário técnico-científico (seção 4.1), nas oportunidades científicas de desenvolvimento da PML (seção 4.2) e nos desafios enfrentados pelas empresas durante sua implementação (seção 4.3). Estes elementos serviram de benchmarking para a elaboração do framework e foram analisados e adaptados à luz da experiência do autor.

Quadro 6 – Framework de desenvolvimento da PML

(continua)

Setor	Domínio	Propostas	Interações Tríplice Hélice	Referência Técnicas e Científicas
 Governo	Políticas e Legislações	Desenvolver políticas nacionais e legislações para promover a PML	Indústria e Universidade	Almeida et al. (2017); Auyong and Chin (2019); DOE (2007); Hong and Li (2013); NPC (2002); Vieira and Amaral (2016)
		Regular empresas altamente poluidoras e definir auditorias obrigatórias	Indústria	Ashton et al. (2017); Bai et al. (2015); NPC (2002); UNIDO and UNEP,(2015)

(continuação)

Setor	Domínio	Propostas	Interações Tríplice Hélice	Referência Técnicas e Científicas
 Governo	Políticas e Legislações	Criar agências em níveis nacional, estadual e municipal para promover a PML	Indústria e Universidade	Changbo et al. (2015); Peng and Liu (2016); UNIDO and UNEP (2015)
		Fomentar o uso de energia limpa no país	Indústria e Universidade	Bokhari et al. (2016); Jakrawatana et al. (2016); Yong et al. (2016); Severo et al. (2017); Hens et al. (2018).
	Educação	Desenvolver campanhas de conscientização sobre a importância e benefícios da PML	Indústria e Universidade	Khalili et al. (2015); Khorasanizadeh et al. (2016)
		Promover a criação de centros de pesquisa de PML e centros de financiamento de pesquisa	Universidade	Godinho Filho et al. (2016); Pereira and Sant'Anna (2012); Khalili et al. (2015); UNIP (2020); Wesseh Jr and Lin (2015)
	Economia	Taxar a poluição gerada por indústrias, criar incentivos fiscais às práticas de PML e subsidiar projetos de PML	Indústria	DOE (2007); Shi et al. (2008); UNIDO and UNEP (2015); Vickers and Cordey-Hayes (1999)
 Indústria	Planejamento e Gestão	Engajar os gestores das empresas na adoção de gestão ambiental como uma prioridade	Governo	Gonçales Filho et al. (2018); Govindan et al. (2016); Shi et al. (2008)
		Inserir o desenvolvimento sustentável na cultura organizacional	Governo	Henriques and Catarino (2015), Silvestre and Silva Neto (2014)
		Criar parcerias entre empresa-universidades, fomentando ações em conjunto com instituições especializadas em PML	Universidade	Godinho Filho et al. (2016); Pereira and Sant'Anna (2012); Khalili et al. (2015)
		Adoção de iniciativas de Cadeias de Suprimentos Verde	Governo	Van Hoof (2014); Almeida et al. (2015); Khalili et al. (2015)
		Adoção voluntária de Sistemas Integrados de Gestão (ISO 9001, ISO 14001)	Governo e Universidade	De Oliveira et al. (2016); Ortolano et al. (2014)
	Produção	Fortalecimento dos departamentos de P&D para o desenvolvimento de tecnologias limpas	Universidade	Pinkse and Dommisse (2009); Scarazzato et al. (2017); UNIDO and UNEP (2015)
		Substituir matérias-primas perigosas e poluentes por opções mais limpas	Governo e Universidade	Auyong and Chin (2019); Bokhari et al. (2016); Chuah et al. (2016); Mia et al. (2018)
Adoção de <i>green product design</i> e de energia limpa		Governo e Universidade	Bokhari et al. (2016); Jakrawatana et al. (2016); Yong et al. (2016)	

(conclusão)

Setor	Domínio	Propostas	Interações Tríplice Hélice	Referência Técnicas e Científicas
 Universidade	Educação	Desenvolvimento de cursos de PML em instituições de ensino superior	Governo e Indústria	Ashton et al. (2017); Khalili et al. (2015); McPherson et al. (2016)
		Criar redes de disseminação de informações sobre avanços em práticas da PML (congressos, workshops, mesas redondas)	Governo e Indústria	UNIDO and UNEP (2015); UNIP (2020)
	Pesquisa	Criar centros de pesquisa especializados em tecnologias limpas	Indústria	Bokhari et al. (2016); Jakrawatana et al. (2016); Yong et al. (2016); Severo et al. (2017); Hens et al. (2018).
		Sistematizar do processo de implementação da PML	Governo e Indústria	Long et al. (2014); Van Hoof (2014); Almeida et al. (2015); Wesseh Jr and Lin (2015); Severo et al. (2017); Hens et al. (2018).
		Estudar os benefícios e motivações da implementação de práticas de PML	Governo e Indústria	Almeida et al. (2015); Henriques and Catarino (2015); Khalili et al. (2015);
		Desenvolver materiais e processos que gerem menor impactos ambientais	Governo e Indústria	Hayyan et al. (2014); Silva et al. (2015); Yilmaz et al. (2015); Chuah et al. (2016); Bokhari et al. (2016); Dahunsi et al. (2017); Mia et al. (2018); Deutz (2018).
		Estudar e propor soluções para os desafios da PML	Governo e Indústria	Silvestre and Silva Neto (2014); Ortolano et al. (2014); Almeida et al. (2015); Severo et al. (2015); Govindan, et al. (2016); De Oliveira et al. (2016).
		Desenvolver novas abordagens de PML adaptados a diferentes necessidades de empresas e países	Governo e Indústria	Jia et al. (2014); Long et al. (2014); De Oliveira et al. (2016); Ozturk et al. (2016); Almeida et al. (2017); Fréon et al. (2017).

Fonte: Autor (2020).

As ações da esfera governamental estão segmentadas em Políticas e Legislações; Economia; e Educação. As ações de Políticas e Legislações são focadas em regular e impulsionar as demais esferas da Tríplice Hélice a incentivarem e adotarem práticas de PML. O desenvolvimento de leis que fomentem as empresas a se engajarem em soluções para seus impactos ambientais é um grande catalizador para as mudanças nas atitudes corporativas e da sociedade (BONILLA et al., 2010). Assim, a criação de uma política nacional pautada na PML e a criação de uma rede de agências de apoio às organizações em níveis regionais são

iniciativas importantes para a disseminação de suas práticas nos territórios nacionais (KHALILI et al., 2015; ZHANG; YANG; BI, 2013). Legislações específicas voltadas a setores industriais altamente poluidores também são importantes incentivos às empresas que adotarem estratégias de prevenção de poluição (BONILLA et al., 2010; YUSUP et al., 2014). Nesse sentido, a regulação de auditorias voluntárias e obrigatórias permitem uma fiscalização eficiente das implementações da PML (BAI et al., 2015; HONG; LI, 2013).

O aspecto econômico é marcado pelo subsídio e incentivo fiscal a projetos de PML com a disponibilização de vantagens especiais em empréstimos para implementação da PML nas empresas industriais (UNIDO; UNEP, 2015). Já a taxação de poluição das indústrias é uma prática que internaliza nas empresas o custo da poluição gerada por ela, incentivando-as a adotarem uma postura de prevenção da poluição.

O aspecto educacional reforça a responsabilidade de os governos investirem na conscientização, na formação de profissionais capacitados e no desenvolvimento de novas técnicas e ferramentas que estimulem a implementação da PML. São propostas ações de fomento e suporte às instituições de pesquisa no desenvolvimento de estudos e capacitações sobre as práticas da PML e divulgação de campanhas de conscientização sobre essa estratégia.

Por sua vez, as ações pertinentes à academia estão divididas em Ensino e Pesquisa. As ações educacionais têm foco na formação de profissionais tecnicamente capacitados em práticas de PML. Assim como os governos, as instituições de educação superior têm um papel importante neste aspecto ao serem responsáveis por criar capital humano necessário para o desenvolvimento da economia dos países (KHALILI et al., 2015). Assim, estas devem empreender esforços em desenvolver treinamentos nos domínios da PML necessários para o sucesso das aplicações práticas dessa estratégia e para disseminar o conhecimento através de congressos, mesas redondas, workshops, vídeos, livros, etc. (BONILLA et al., 2010).

No item Pesquisa, são sugeridos campos de pesquisa a serem explorados pelas instituições acadêmicas para o desenvolvimento do conhecimento sobre a PML. Eles foram baseados nas oportunidades científicas da PML identificadas neste estudo. São sugeridos esforços no desenvolvimento de tecnologias limpas, processos produtivos mais eficientes e materiais e produtos verdes. O estudo das dificuldades enfrentadas pelas empresas durante a implementação da PML e o desenvolvimento de estratégias para superá-las são importantes iniciativas de apoio à adoção de suas práticas. As parcerias entre o governo, a academia e a indústria são fundamentais, pois permitem que os conhecimentos obtidos sejam transferidos entres as três esferas, tornando-os realmente aplicáveis (KIMATU, 2016).

Por fim, as ações referentes às indústrias estão segmentadas em Planejamento e Gestão; e Produção. No tópico de Planejamento e Gestão é destacada a importância do comprometimento da alta gestão das empresas em adotar e incentivar as práticas da PML. Os gestores devem estar conscientes da importância de realizar os investimentos necessários para implementação da PML e desenvolverem uma cultura organizacional pautada nos valores do desenvolvimento sustentável (GONÇALES FILHO et al., 2018; VIEIRA; AMARAL, 2016). Assim, é sugerida a adoção de práticas que facilitem a integração da PML à estratégia da empresa como, por exemplo, a estruturação de auditorias de PML, a implementação de sistemas integrados de gestão (ISO 9001, ISO 14001), o desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos verde e parcerias com instituições de pesquisa (DE OLIVEIRA et al., 2016; ORTOLANO et al., 2014).

As iniciativas referentes à Produção visam tornar os processos produtivos mais eficientes e menos poluentes. Assim, são sugeridas práticas como a substituição de materiais perigosos ou poluentes por materiais mais limpos, investimento em processos e máquinas mais eficientes e a adoção de energia renovável. O fortalecimento da área de P&D das empresas é essencial para viabilizar essas transformações e fomentar o desenvolvimento de tecnologias limpas adequadas às necessidades de cada uma.

O Framework também destaca o potencial sinérgico de ações conjuntas e parcerias entre governos, indústrias e universidades, que, se integradas, podem alavancar o desenvolvimento da PML. O governo pode direcionar suas políticas para regular e promover o uso de práticas de PML na indústria, especialmente nos setores mais poluidores. O governo, as universidades e as indústrias também podem trabalhar juntos para promover o desenvolvimento de soluções para os desafios da implementação desta estratégia e fomentar a criação de centros de desenvolvimento de tecnologia limpa; e as universidades podem estabelecer parcerias com as indústrias para treinar profissionais para trabalhar na gestão ambiental e na PML. Assim, ações integradas entre os setores da Tríplice Hélice podem abrir caminhos para que as indústrias avancem em direção a processos de produção mais limpos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A PML é uma importante estratégia de prevenção da poluição utilizada principalmente em indústrias. Apesar de seus benefícios, ela ainda enfrenta diversos desafios para ser amplamente adotada em diversos países e setores empresariais. Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho foi cumprido ao propor um framework de desenvolvimento da PML que sirva de guia para as ações de promoção da estratégia nas três esferas da tríplice hélice, as quais são o motor da inovação na sociedade moderna (Ranga and Etzkowitz, 2013).

A principal contribuição científica deste trabalho foi articular a teoria da PML com o seu cenário técnico-científico, identificando os benefícios e desafios de implementação dessa estratégia. Assim, este estudo contribui para a área de estudo da PML e incentiva futuros estudos e pesquisas que busquem superar os desafios dessa estratégia.

A principal contribuição aplicada deste trabalho foi o desenvolvimento de um framework para governos, indústrias e a academia científica, a partir da análise do cenário técnico-científico da PML, suas oportunidades de desenvolvimento e desafios de implementação. É esperado que a adoção das iniciativas propostas no framework permitirá disseminar as práticas de PML e aumentar o sucesso de suas implementações, reduzindo o nível de geração de poluição das indústrias, aumentando a eficiência de processos de manufatura e aproximando os países e suas sociedades de um desenvolvimento sustentável.

Assim, a principal novidade deste trabalho é a proposta de um framework de ações pautadas tanto em boas práticas quanto nas oportunidades de desenvolvimento da PML, de forma que as principais instituições responsáveis pela solução dos problemas ambientais globais possam superar as barreiras de expansão dessa estratégia.

Entretanto, as práticas da PML utilizadas e suas dificuldades variam consideravelmente de acordo com o país e setor industrial estudado (Ortolano et al., 2014). Assim, a limitação deste estudo está relacionada à escolha dos critérios de seleção dos países e iniciativas estudados, os quais, se alterados, poderiam apresentar diferentes resultados. Portanto, é sugerido o desenvolvimento de estudos em diferentes contextos que sistematizem ações de promoção da PML adaptadas às necessidades de cada país e setor, usando novas combinações de critérios e métodos. Também são sugeridos estudos mais aprofundados em cada esfera do tríplice hélice, de forma a incentivar o estreitamento de relações entre elas (indústria-academia-governo), criando células nacionais/regionais de promoção de inovações nessa área.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, A. R. Environmental pollution in Malaysia: trends and prospects. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 14, n. 5, p. 191–198, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0165993695913694>. Acesso em: 13 mar. 2020
- ACPN - ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION NETWORK. **Boosting knowledge exchange seeking for sustainability**, [2020]. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/network/>. Acesso em: 2 abr. 2020.
- AFROZ, R.; HASSAN, M. N.; IBRAHIM, N. A. Review of air pollution an health impacts in Malaysia. **Environmental Research**, San Diego, v. 92, n. 2, p. 71–77, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935102000592>. Acesso em: 04 out. 2020.
- AJADI, T.; BOYLE, R.; STRAHAN, D.; KIMMEL, M.; COLLINS, B.; CHEUNG, A.; BECKER, L. **Global Trends in renewable energy investment 2019 bloomberg new energy finance**. 2019. Disponível em: <http://www.fs-unep-centre.org>. Acesso em: 05 out. 2020.
- ALMEIDA, C. M. V. B.; AGOSTINHO, F.; GIANNETTI, B. F.; HUISINGH, D. Integrating cleaner production into sustainability strategies: an introduction to this special volume. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 96, p. 1–9, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614013845>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- ALMEIDA, C. M. V. B.; AGOSTINHO, F.; HUISINGH, D.; GIANNETTI, B. F. Cleaner Production towards a sustainable transition. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 142, p. 1 - 7, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616317140>. Acesso em: 14 maio 2020.
- APARECIDO, D.; SILVA, L.; DELAI, I.; AURÉLIO, M.; CASTRO, S. De; ROBERTO, A. Quality tools applied to cleaner production programs: a first approach toward a new methodology. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 47, p. 174–187, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612005586>. Acesso em: 16 jun. 2020.
- ASHTON, W. S.; HURTADO-MARTIN, M.; ANID, N. M.; KHALILI, N. R.; PANERO, M. A.; MCPHERSON, S. Pathways to cleaner production in the Americas I: bridging industry-academia gaps in the transition to sustainability. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 142, p. 432 - 444, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616301871>. Acesso em: 21 jul. 2020.
- AUYONG, H. N.; CHIN, Y. H. Cleaner production and sustainability: stakeholder pressure and the adoption of pollution prevention measures of industrial hazardous waste in Malaysia. **IOP Conference Series: earth and environmental science**, v. 268, n. 1, 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/268/1/012027>. Acesso em: 18 out. 2020.

BAI, Y.; YIN, J.; YUAN, Y.; GUO, Y.; SONG, D. An innovative system for promoting cleaner production: Mandatory cleaner production audits in China. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 108, p. 883–890, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615010380>. Acesso em: 22 nov. 2020.

BOKHARI, A.; CHUAH, L. F.; YUSUP, S.; KLEMEŠ, J. J.; AKBAR, M. M.; KAMIL, R. N. M. Cleaner production of rubber seed oil methyl ester using a hydrodynamic cavitation: optimisation and parametric study. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 136, p. 31–41, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616303675>. Acesso em: 16 out. 2020.

BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F.; HUISINGH, D. The roles of cleaner production in the sustainable development of modern societies: an introduction to this special issue. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 18, n. 1, p. 1–5, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652609002807>. Acesso em: 14 out. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **MMA incentiva criação de fóruns estaduais de produção mais limpa**. Brasília, 2006. Disponível em:

<https://www.mma.gov.br/informma/item/3058-mma-incentiva-criacao-de-foruns-estaduais-de-producao-mais-limpa.html>. Acesso em: 4 dez. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de ação para produção e consumo sustentáveis – PPCS**. Brasília, 2011. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/publicacoes/responsabilidade-socioambiental/category/90-producao-e-consumo-sustentaveis?download=938:plano-de-acao-para-producao-e-consumo-sustentaveis-volume-iii>. Acesso em: 4 dez. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de ação para produção e consumo sustentáveis - PPCS: relatório do primeiro ciclo de implementação**. Brasília, 2014.

Disponível em: <http://www4.planalto.gov.br/consea/publicacoes/sustentabilidade/plano-de-acao-para-producao-e-consumo-sustentaveis/11-plano-de-acao-para-producao-e-consumo-sustentaveis.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2019.

BURNETT, M. L. The pollution prevention act of 1990: a policy whose time has come or symbolic legislation? **Environmental Management**, Nova Iorque, v. 22, n. 2, p. 213–224, 1998. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s002679900098>. Acesso em: 6 dez. 2020.

CABELLO ERAS, J. J.; GUTIÉRREZ, A. S.; CAPOTE, D. H.; HENS, L.;

VANDECASTEELE, C. Improving the environmental performance of an earthwork project using cleaner production strategies. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 47, p. 368–376, 2013. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612006191>. Acesso em: 6 dez. 2020.

CHANGBO, Z.; ZI, L.; JINGJUN, L.; XIAOAO, W.; YANYING, B.; GANG, F. Analysis on

the status for cleaner production in China. *In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION*, 5., 2015, São Paulo. **Proceedings** [...]. São Paulo, 2015. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/fifth/files/sexoes/4B/7/changbo_z_et_al_academic.pdf. Acesso em: 15 set. 2020.

CHUAH, L. F.; YUSUP, S.; ABD AZIZ, A. R.; BOKHARI, A.; ABDULLAH, M. Z. Cleaner production of methyl ester using waste cooking oil derived from palm olein using a hydrodynamic cavitation reactor. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 112, p. 4505–4514, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615008458>. Acesso em: 19 set. 2020.

Cleaner production promotion law. NPC - National People's Congress, 2002. Disponível em: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn46926E.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2020.

CNTL. SENAI. UNIDO. UNEP. **Cinco fases da implantação de técnicas de produção mais limpa**. Porto Alegre: Senai, 2003. Disponível em: https://www.senairs.org.br/sites/default/files/documents/manual_cinco_fases_da_producao_mais_limpa.pdf. Acesso em 02 jan. 2020.

DAHUNSI, S. O.; ORANUSI, S.; EFEOVBOKHAN, V. E. Cleaner energy for cleaner production: Modeling and optimization of biogas generation from Carica papayas (Pawpaw) fruit peels. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 156, p. 19–29, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617307503>. Acesso em: 17 fev. 2020.

FERRAUDO, A. S.; OLIVEIRA, J. A.; OLIVEIRA, O. J.; OMETTO, A. R.; SALGADO, M. H. Environmental management system ISO 14001 factors for promoting the adoption of Cleaner Production practices. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 133, p. 1384 - 1394, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616306813>. Acesso em: 18 mar. 2020.

DEUTZ, S.; BONGARTZ, D.; HEUSER, B.; KÄTELHÖN, A.; SCHULZE LANGENHORST, L.; OMARI, A.; WALTERS, M.; KLANKERMAYER, J.; LEITNER, W.; MITSOS, A.; PISCHINGER, S.; BARDOW, A. Cleaner production of cleaner fuels: Wind-to-wheel-environmental assessment of CO₂-based oxymethylene ether as a drop-in fuel. **Energy and Environmental Science**, Londres, v. 11, n. 2, p. 331–343, 2018. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/ee/c7ee01657c>. Acesso em: 12 abr. 2020.

DOE - DEPARTMENT OF ENVIRONMENT. **Cleaner production blueprint for malaysiaministry of natural resources and environment**. 2002. Disponível em: <http://www.doe.gov.my/webportal/en>. Acesso em: 17 jun. 2020.

DOE - DEPARTMENT OF ENVIRONMENT. **Director general's message**. 2020. Disponível em: <https://www.doe.gov.my/portalv1/en/tentang-jas/pengenalan/perutusan-ketua-pengarah>. Acesso em: 27 mar. 2020.

DOBES, V. New tool for promotion of energy management and cleaner production on no

cure , no pay basis. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 39, p. 255–264, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612004143>. Acesso em: 23 jul. 2020.

ELO S., KÄÄRIÄINEN M., KANSTE O., PÖLKKI T., UTRIAINEN K., KYNGÄS H. Qualitative Content Analysis: A Focus On Trustworthiness. **SAGE Open**, Londres, v. 4, n. 1, p. 1–10, 2014. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2158244014522633>. Acesso em: 19 jun. 2020.

ELSEVIER. Don Huisingh: founder and editor-in-chief emeritus. **Journal of Cleaner Production**. 2020a. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-cleaner-production/editorial-board/don-huisingh>. Acesso em: 27 mar. 2020.

ELSEVIER. **Journal of Cleaner Production**. 2020b. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-cleaner-production>. Acesso em: 27 mar. 2020.

FAÉ GOMES, G. M.; CÉSAR, A.; VILELA, F.; DALLA, L.; OSÓRIO, E. Aspects for a cleaner production approach for coal and biomass use as a decentralized energy source in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 47, p. 85–95, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612005082>. Acesso em: 26 set. 2020.

FAPESP. **Biagio Fernando Giannetti**: Biblioteca Virtual da FAPESP. 2020. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/pt/pesquisador/2244/biagio-fernando-giannetti/>. Acesso em: 27 mar. 2020.

FRÉON, P.; DURAND, H.; AVADÍ, A.; HUARANCA, S.; OROZCO, M. R. Life cycle assessment of three Peruvian fishmeal plants: Toward a cleaner production. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 145, p. 50–63, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617300446>. Acesso em: 29 out. 2020.

GODINHO FILHO, M.; OLIVEIRA NETO, G. C.; SHIBAO, F. Y. The state of research on cleaner production in Brazil. **RAE Revista de Administracao de Empresas**, São Paulo, v. 56, n. 5, p. 547–577, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rae/v56n5/0034-7590-rae-56-05-0547.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

GONÇALES FILHO, M.; NUNHES, T. V.; BARBOSA, L. C. F. M.; DE CAMPOS, F. C.; DE OLIVEIRA, O. J. Opportunities and challenges for the use of cleaner production to reduce water consumption in Brazilian sugar-energy plants. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 186, p. 353–363, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618307753>. Acesso em: 15 nov. 2020.

GOVINDAN, K.; SHANKAR, K. M.; KANNAN, D. Application of fuzzy analytic network process for barrier evaluation in automotive parts remanufacturing towards cleaner production e a study in an Indian scenario. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 114, p. 199–213, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615008252>. Acesso em 30 maio 2020.

- GOVINDAN, K.; SOLEIMANI, H. A review of reverse logistics and closed-loop supply chains : a Journal of Cleaner Production focus. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 142, p. 371–384, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616301986>. Acesso em 27 out. 2020.
- GONZÁLEZ, R. Analysing the factors influencing clean technology adoption: a study of the spanish pulp and paper industry. **Business Strategy and the Environment**, Bangkok, v. 37, p. 20–37, 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bse.426>. Acesso em: 14 jun. 2020.
- HALL, B. H.; HELMERS, C. Innovation and diffusion of clean/green technology: can patent commons help? **Journal of Environmental Economics and Management**, San, Diego, v. 66, p. 33–51, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0095069613000211>. Acesso em: 13 jan. 2021.
- HARRINGTON, D. R. Effectiveness of state pollution prevention programs and policies. **Contemporary Economic Policy**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 255–278, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1465-7287.2011.00312.x>. Acesso em: 18 fev. 2021.
- HAYYAN, A.; ALI, M.; HAYYAN, M.; MJALLI, F. S.; ALNASHEF, I. M. A new processing route for cleaner production of biodiesel fuel using a choline chloride based deep eutectic solvent. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 65, p. 246–251, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652613005714>. Acesso em: 07 ago. 2020.
- HENRIQUES, J.; CATARINO, J. Sustainable value and cleaner production e research and application in 19 Portuguese SME. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 96, p. 379–386, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614001760>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- HENS, L.; BLOCK, C.; CABELLO-ERAS, J. J.; SAGASTUME-GUTIEREZ, A.; GARCIA-LORENZO, D.; CHAMORRO, C.; HERRERA MENDOZA, K.; HAESLONCKX, D.; VANDECASTEELE, C. On the evolution of “Cleaner Production” as a concept and a practice. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 172, p. 3323–3333, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617327427>. Acesso em: 16 mar. 2020.
- HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual’s scientific research output. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 46, p. 16569–16572, 2005. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/102/46/16569>. Acesso em: 04 jan. 2020.
- HONG, J.; LI, X. Speeding up cleaner production in China through the improvement of cleaner production audit. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 40, p. 129–135, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612004891>. Acesso em: 23 ago. 2020.

HSIEH, H. F.; SHANNON, S. E. Three approaches to qualitative content analysis. **Qualitative Health Research**, Londres, v. 15, n. 9, p. 1277–1288, 2005. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1049732305276687>. Acesso em: 06 ago. 2020.

HUANG, Y.; LUO, J.; XIA, B. Application of cleaner production as an important sustainable strategy in the ceramic tile plant e a case study in Guangzhou , China. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 43, p. 113–121, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612006592>. Acesso em: 15 dez. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contas nacionais trimestrais**. [2020]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1846#/n1/all/v/all/p/-1/c11255/90687,90691,90696,90705,90706,90707,93404,93405,93406,93407,93408,102880/v,.,c11255+t+p/resultado>. Acesso em: 12 jun. 2020

ISSE - INSTITUTE FOR A SECURE AND SUSTAINABLE ENVIRONMENT. **Institute for a secure & sustainable environment**. Knoxville: The University of Tennessee, 2020. Disponível em: <http://isse.utk.edu/index.html>. Acesso em: 22 mar. 2020.

JAKRAWATANA, N.; PINGMUANGLEKA, P.; GHEEWALA, S. H. Material flow management and cleaner production of cassava processing for future food, feed and fuel in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 134, p. 633 - 641, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615008720>. Acesso em: 09 fev 2021.

JIA, L.; ZHANG, Y.; TAO, L.; JING, H.; BAO, S. A methodology for assessing cleaner production in the vanadium extraction industry. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 84, n. 1, p. 598–605, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652613003259>. Acesso em: 12 out. 2020.

JINGTAO, J. C. **5 lessons from China on how to drive sustainable growth**. World Economic Forum, 2019. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2019/08/china-sustainable-growth/>. Acesso em: 17 fev. 2020.

KAN, H.; CHEN, R.; TONG, S. Ambient air pollution, climate change, and population health in China. **Environment International**, Amsterdam, v. 42, n. 1, p. 10–19, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412011000535>. Acesso em: 23 ago. 2020.

KHALILI, N. R.; DUECKER, S.; ASHTON, W.; CHAVEZ, F. From cleaner production to sustainable development: the role of academia. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 96, p. 30–43, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614001322>. Acesso em: 24 nov. 2020.

KIMATU, J. N. Evolution of strategic interactions from the triple to quad helix innovation models for sustainable development in the era of globalization. **Journal of Innovation and**

Entrepreneurship, Heidelberg, v. 5, n. 1, p. 0–6, 2016. Disponível em: <https://innovation-entrepreneurship.springeropen.com/articles/10.1186/s13731-016-0044-x>. Acesso em: 30 jul. 2020.

KIST, L. T.; MOUTAQI, S. El; MACHADO, Ê. L. Cleaner production in the management of water use at a poultry slaughterhouse of Vale do Taquari, Brazil: a case study. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 17, n. 13, p. 1200–1205, 2009. Disponível em: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965260900136X](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965260900136X). Acesso em: 06 nov. 2020.

KOTHARI, C; GARG, G. **Research methodology: methods and techniques**. 3. ed. Nova Deli: New Age, 2014.

KUBOTA, F. I.; CANTORSKI, L. Identification and conception of cleaner production opportunities with the Theory of Inventive Problem Solving. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 47, p. 199–210, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612004052>. Acesso em: 29 ago. 2020.

LEYDESDORFF, L.; ETZKOWITZ, H. Emergence of a Triple Helix of university: industry: government relations. **Science and Public Policy**, Londres, v. 23, p. 279–286, 1996. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1026276308287>. Acesso em: 17 dez. 2019.

LEYDESDORFF, L.; MEYER, M. Triple Helix indicators of knowledge-based innovation systems Introduction to the special issue. **Research Policy**, Amsterdam, v. 35, n. 10, p. 1441–1449, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733306001508>. Acesso em: 15 nov. 2019.

LI, Z.; MA, Z.; VAN DER KUIJP, T. J.; YUAN, Z.; HUANG, L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 468–469, p. 843–853, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969713010176>. Acesso em: 02 jan. 2020.

LIU, J.; DIAMOND, J. China's environment in a globalization world. **Nature**, Londres, v. 435, p. 1179–1186, 2005. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/4351179a>. Acesso em: 08 nov. 2019.

LONG, J.; XU, H.; CUI, C.; WEI, X.; CHEN, F. A novel plant for fabric rope dyeing in supercritical carbon dioxide and its cleaner production. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 65, p. 574–582, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652613005295#:~:text=A%20rope%20dyeing%20pilot%20plant,guide%20tape%20during%20dyeing%20process>. Acesso em: 15 fev. 2020.

LU, Y.; SONG, S.; WANG, R.; LIU, Z.; MENG, J.; SWEETMAN, A. J.; JENKINS, A.; FERRIER, R. C.; LI, H.; LUO, W.; WANG, T. Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China. **Environment International**, Amsterdam, v. 77, p. 5–15, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015000021#:~:text=to%20human%20health,-,The%20increasing%20negative%20effects%20on%20food%20safety%20from%20water%20and,of%20soil%20and%20water%20pollution..> Acesso em: 21 maio 2020.

MCPHERSON, S.; ANID, N. M.; ASHTON, W. S.; HURTADO-MARTIN, M.; KHALILI, N. R.; PANERO, M. A. Pathways to cleaner production in the Americas II: application of a competency model to experiential learnings for sustainability education. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 135, p. 907–918, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616308253>. Acesso em 26 abr. 2020.

MOLDAVSKA, A.; WELO, T. The concept of sustainable manufacturing and its definitions: A content-analysis based literature review. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 166, p. 744–755, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617317213>. Acesso em: 15 set. 2020.

MIA, M.; GUPTA, M. K.; SINGH, G.; KRÓLCZYK, G.; PIMENOV, D. Y. An approach to cleaner production for machining hardened steel using different cooling-lubrication conditions. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 187, p. 1069–1081, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618309600>. Acesso em: 27 set. 2020.

MILLER, G.; BURKE, J.; MCCOMAS, C.; DICK, K. Advancing pollution prevention and cleaner production - USA's contribution. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 16, p. 665–672, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652607000510>. Acesso em: 05 out. 2020.

MINISTRY OF ENERGY GREEN TECHNOLOGY AND WATER. **Green technology master plan malaysia 2017 - 2030**. 2017. Disponível em: <http://www.kettha.gov.my>. Acesso em: 03 ago. 2020.

MUYIBI, S. A.; AMBALI, A. R.; EISSA, G. S. The impact of economic development on water pollution: Trends and policy actions in Malaysia. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 22, n. 4, p. 485–508, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-007-9174-z>. Acesso em: 23 set. 2020.

OCHSNER, M.; CHESS, C.; GREENBERG, M. Pollution prevention at the 3M corporation: case study insights into organizational incentives, resources and strategies. **Waste Management**, Nova Iorque, v. 15, n. 8, p. 663–672, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0956053X96000475>. Acesso em: 11 jun. 2020.

ORTOLANO, L.; SANCHEZ-TRIANA, E.; AFZAL, J.; ALI, C. L.; REBELLÓN, S. A. Cleaner production in Pakistan's leather and textile sectors. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 68, p. 121–129, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614000274>. Acesso em: 11 ago. 2020.

OZTURK, E.; KOSEOGLU, H.; KARABOYACI, M.; YGIT, N. O.; YETIS, U.; KITIS, M. Sustainable textile production: cleaner production assessment/eco-efficiency analysis study in a textile mill. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 138, p. 248–263, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616002481>. Acesso em: 04 out. 2020.

NUNHES, T. V.; BERNARDO, M.; OLIVEIRA, O. J. Guiding principles of integrated management systems: Towards unifying a starting point for researches and practitioners. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 210, p. 977-993, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618334668>. Acesso em: 24 jul. 2020.

PENG, H.; LIU, Y. A comprehensive analysis of cleaner production policies in China. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 135, p. 1138–1149, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616308770>. Acesso em: 19 set. 2020.

PEREIRA, G. R.; SANT'ANNA, F. S. P. Uma análise da produção mais limpa no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, v. 24, p. 17–26, 2012. Disponível em: http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/24-04_Materia_2_artigos313.pdf. Acesso em: 07 abr. 2020.

PINKSE, J.; DOMMISSE, M. Overcoming barriers to sustainability: an explanation of residential builders' reluctance to adopt clean technologies. **Business Strategy and the Environment**, Bangkok, v. 18, n. 8, p. 515–527, 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bse.615>. Acesso em: 16 jun. 2020.

POON, W. C.; HERATH, G.; SARKER, A.; MASUDA, T.; KADA, R. River and fish pollution in Malaysia: a green ergonomics perspective. **Applied Ergonomics**, Nova Iorque, v. 57, p. 80–93, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687016300278?via%3Dihub>. Acesso em: 10 maio 2020.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAHIM, R.; RAMAN, A. A. A. Cleaner production implementation in a fruit juice production plant. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 101, p. 215 - 221, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615002966>. Acesso em: 04 out. 2020.

RANI, N. L. A.; AZID, A.; KHALIT, S. I.; JUAHIR, H.; SAMSUDIN, M. S. Air pollution index trend analysis in Malaysia, 2010-15. **Polish Journal of Environmental Studies**, Olsztyn, v. 27, n. 2, p. 801–808, 2018. Disponível em: <http://www.pjoes.com/Air-Pollution-Index-Trend-Analysis-nin-Malaysia-2010-15,75964,0,2.html>. Acesso em: 22 jul. 2020.

RANSON, M.; COX, B.; KEENAN, C.; TEITELBAUM, D. The impact of pollution prevention on toxic environmental releases from U.S. Manufacturing facilities. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 49, n. 21, p. 12951–12957, 2015.

Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b02367>. Acesso em: 17 jun. 2020.

SÁEZ-MARTÍNEZ, F. J.; LEFEBVRE, G.; HERNÁNDEZ, J. J.; CLARK, J. H. Drivers of sustainable cleaner production and sustainable energy options. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 138, p. 1 - 7, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616312422>. Acesso em 05 dez. 2020.

SCARAZZATO, T.; PANOSSIAN, Z.; TENÓRIO, J. A. S.; PÉREZ-HERRANZ, V.; ESPINOSA, D. C. R. A review of cleaner production in electroplating industries using electro dialysis. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 168, p. 1590–1602, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617306054>. Acesso em: 06 nov. 2020.

SEVERO, E. A.; GUIMARÃES, J. C. F. De; DORION, E. C. H. Cleaner production and environmental management as sustainable product innovation antecedents: a survey in Brazilian industries. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 142, n. 1, p. 87 - 97, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616307673>. Acesso em: 21 dez. 2020.

SEVERO, E. A.; GUIMARÃES, J. C. F.; DORION, E. C. H.; NODARI, C. H. Cleaner production, environmental sustainability and organizational performance: an empirical study in the Brazilian Metal-Mechanic industry. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 96, p. 118–125, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614006155>. Acesso em: 19 out. 2020.

SHAPIRO, J. S.; WALKER, R. Why is pollution from us manufacturing declining? the roles of environmental regulation, productivity, and trade. **American Economic Review**, Nashville, v. 108, n. 12, p. 3814–3854, 2018. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.20151272>. Acesso em: 01 set. 2020.

SHI, H.; PENG, S. Z.; LIU, Y.; ZHONG, P. Barriers to implementation of cleaner production in Chinese SMEs: government, industry and expert stakeholders' perspectives. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 16, p. 842–852, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652607001278>. Acesso em: 03 out. 2020.

SILVA, D. A. L.; RAYMUNDO PAVAN, A. L.; OLIVEIRA, J. A.; OMETTO, A. R. Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: hotspots and cleaner production alternatives. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 93, p. 222 - 233, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615000347>. Acesso em: 09 fev. 2021.

SILVESTRE, B. S.; NETO, S. Are cleaner production innovations the solution for small mining operations in poor regions? the case of Padua in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 84, n. 1, p. 809–817, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614001309>. Acesso em: 22 set. 2020.

THE WORLD BANK. **Malaysia overview**. 2019. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/country/malaysia/overview#1>. Acesso em: 26 mar. 2020.

THE WORLD BANK. **GDP growth (annual %): Malaysia**. 2020. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=MY&view=chart>. Acesso em: 26 mar. 2020.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Understanding cleaner production**. Disponível em: http://www.uneptie.org/pc/cp/understanding_cp/home.htm. Acesso em: 10 dez. 2018.

UNIDO - UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **National cleaner production centers 20 years of achievement**. Viena: Disponível em: https://www.unido.org/sites/default/files/2015-10/NCPC_20_years_0.pdf. Acesso em: 04 set. 2019.

UNIP - UNIVERSIDADE PAULISTA. **Laboratório de produção e meio ambiente**. 2020. Disponível em: https://www.unip.br/presencial/ensino/pos_graduacao/strictosensu/lab_producao_meioambiente/apresentacao.aspx. Acesso em: 12 maio. 2020.

US EPA. **Air quality: national summary: national air quality: status and trends of key air pollutants**. 2020a. Disponível em: <https://www.epa.gov/air-trends/air-quality-national-summary>. Acesso em: 21 mar. 2020.

US EPA. **Our mission and what we do**: EPA. 2020b. Disponível em: <https://www.epa.gov/aboutepa/our-mission-and-what-we-do>. Acesso em: 07 maio 2020.

US EPA. **Summary of the pollution prevention act: laws & regulations**. 2020c. Disponível em: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-pollution-prevention-act>. Acesso em: 08 maio 2020.

HOOFF, B. Van. Organizational learning in cleaner production among Mexican supply networks. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 64, p. 115–124, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652613005027>. Acesso em: 06 mar. 2020.

VIEIRA, L. C.; AMARAL, F. G. Barriers and strategies applying cleaner production: a systematic review. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 113, p. 5–16, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615016741>. Acesso em: 12 jun. 2020.

WESSEH JÚNIOR, P. K.; LIN, B. Renewable energy technologies as beacon of cleaner production: a real options valuation analysis for Liberia. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 90, p. 300–310, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614012669>. Acesso em: 13 out. 2020.

WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. **Scientific research**: Wuhan University of

Technology. 2020. Disponível em: <http://english.whut.edu.cn/scientific/bi/>. Acesso em: 24 fev. 2020.

YILMAZ, O.; ANCTIL, A.; KARAN, T. LCA as a decision support tool for evaluation of best available techniques (BATs) for cleaner production of iron casting. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 105, p. 337–347, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614001668>. Acesso em: 15 maio 2020.

YONG, J. Y.; KLEMEŠ, J. J.; VARBANOV, P. S.; HUISINGH, D. Cleaner energy for cleaner production: Modelling, simulation, optimisation and waste management. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 111, p. 1 - 16, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615015334?via%3Dihub>. Acesso em: 17 ago. 2020.

YUSUP, M. Z.; WAN MAHMOOD, W. H.; SALLEH, M. R.; MUHAMAD, M. R. The sustainability challenges in the adoption of cleaner production system: A review. **Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)**, Johor Bahru, v. 70, n. 1, p. 117–123, 2014. Disponível em: <https://journals.utm.my/jurnalteknologi/article/view/2388/2562>. Acesso em: 30 jan. 2021.

ZHANG, B.; YANG, S.; BI, J. Enterprises ' willingness to adopt: develop cleaner production technologies : an empirical study in Changshu, China. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 40, p. 62–70, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652610004610>. Acesso em: 16 jan. 2020.

ZILAHY, G.; HUISINGH, D.; MELANEN, M.; PHILLIPS, V. D.; SHEFFY, J. Roles of academia in regional sustainability initiatives: outreach for a more sustainable future. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 17, n. 12, p. 1053 - 1056, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652609001036>. Acesso em: 18 mar. 2020.

ZOU, H.; DU, H.; WANG, Y.; ZHAO, L.; MAO, G.; ZUO, J.; LIU, Y.; LIU, X.; HUISINGH, D. A review of the first twenty-three years of articles published in the Journal of Cleaner Production: with a focus on trends, themes, collaboration networks, low/no-fossil carbon transformations and the future. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 163, p. 1–14, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617308879>. Acesso em: 12 nov. 2020.

APÊNDICE A – Top 10 países no tema

Países	H In- dex Tema	Número de Publicações	Número de Cita- ções	Citações/Publicação	Evolução de publicações por ano						Evolução de citações por ano					
					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Brasil	16	51	548	10,75	5	5	5	13	14	9	2	11	29	69	161	276
China	14	78	565	7,24	5	11	12	16	13	21	4	14	53	90	160	244
Estados Unidos	10	21	355	16,90	2	3	5	3	5	3	0	16	62	73	93	111
Malásia	8	19	264	13,89	2	3	4	7	2	1	1	13	36	54	71	89
Índia	8	18	189	10,50	0	2	5	3	4	4	0	0	14	35	45	95
Paquistão	6	9	107	11,89	1	0	1	3	1	3	0	3	2	21	31	50
Coréia do Sul	6	8	98	12,25	1	0	1	3	2	1	0	0	2	6	33	57
Colômbia	5	8	105	13,13	1	2	0	2	2	1	1	2	13	14	26	49
Reino Unido	5	6	100	16,67	0	2	2	0	1	1	0	3	9	16	33	39
Hungria	4	4	140	35,00	0	0	3	1	0	0	0	0	22	48	37	33

Fonte: Scopus (2020)

APÊNDICE B - Top 10 autores mais citados no tema

(continua)

Autor	H In- dex Tema	Número de Publicações	Número de Cita- ções	Citações/Publicação	Evolução de publicações por ano						Evolução de citações por ano					
					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Severo, E. A. (Universidade de Potiguar/Brasil)	6	6	162	27,00	1	1	0	2	2	0	1	7	6	29	42	77
Huisingh, D. (Universidade do Tennessee/Estados Unidos)	4	4	150	37,50	0	1	1	2	0	0	0	1	32	39	36	42
Klemes, J.J. (Universidade de Tecnologia de Brno /República Tcheca)	4	4	140	35,00	0	0	3	1	0	0	0	0	22	48	37	33
Ometto, A. R. (Universidade de São Paulo/Brasil)	3	7	69	9,86	0	1	2	1	2	1	0	0	2	14	26	27
Dorion, E. C. H. (Universidade de Caxias do Sul /Brasil)	3	3	105	35,00	1	1	0	1	0	0	1	7	6	27	26	38
Chuah, L. F. (Departamento da Marinha/Malásia)	3	3	99	33,00	0	0	2	1	0	0	0	1	14	23	28	33
Yusup, S. (Universidade de Tecnologia de Petros/Malásia)	3	3	91	30,33	0	0	2	1	0	0	0	1	14	20	24	32

(conclusão)

Autor	H Index Tema	Número de Publicações	Número de Citações	Citações/Publicação	Evolução de publicações por ano						Evolução de citações por ano					
					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Giannetti, B. F. (Universidade Paulista/Brasil)	3	4	69	17,25	0	1	0	1	0	2	0	1	13	7	18	30
de Guimarães J. C. F. (Universidade de Potiguar, Brasil)	3	3	57	19,00	0	0	0	1	2	0	0	0	0	2	16	39
Agostinho F. (Universidade Paulista, Brasil)	2	3	64	21,33	0	1	0	1	0	1	0	1	13	7	18	25

Fonte: Scopus (2020)

APÊNDICE C - Top 10 institutos de pesquisa mais citados no tema

(continua)

Instituto de pesquisa	H Index Tema	Número de Publicações	Número de Citações	Citações/Publicação	Evolução de publicações por ano						Evolução de citações por ano					
					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Universidade de São Paulo - USP (Brasil)	7	12	134	11,17	0	2	2	3	3	2	0	0	2	14	42	76
Universiti Teknologi Petronas (Malásia)	5	5	112	22,40	0	0	2	3	0	0	0	1	14	21	33	43
Universidade de Caxias do Sul (Brasil)	4	4	127	31,75	1	1	0	1	1	0	1	7	6	27	30	56
Universidade Paulista (Brasil)	4	5	87	17,40	0	1	1	1	0	2	0	1	13	12	26	35
Ministry of Education (China)	4	5	56	11,20	0	2	1	2	0	0	0	0	11	9	21	15
University of Tennessee, Knoxville (Estados Unidos)	3	3	146	48,67	0	1	1	1	0	0	0	1	32	38	36	39
University of Malaya (Malásia)	3	3	89	29,67	1	1	0	1	0	0	1	11	15	18	21	23
Illinois Institute of Technology (Estados Unidos)	3	4	90	22,50	0	1	1	1	1	0	0	9	18	14	25	24

(conclusão)

Instituto de pesquisa	H Index Tema	Número de Publicações	Número de Citações	Citações/Publicação	Evolução de publicações por ano						Evolução de citações por ano					
					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Wuhan University of Technology (China)	3	4	65	16,25	1	1	1	1	0	0	2	5	3	15	16	24
IMED - Passo Fundo (Brasil)	3	3	75	25,00	0	0	0	2	1	0	0	0	0	8	23	44

Fonte: Scopus (2020)

APÊNDICE D - Top 10 centros de financiamento mais citados no tema

(continua)

Centro de Financiamento	H Index Tema	Número de Publicações	Número de Citações	Citações/Publicação	Evolução de publicações por ano						Evolução de citações por ano					
					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014	2015	2016	2017	2018	2019
National Natural Science Foundation of China (China)	9	31	190	6,13	2	1	2	6	8	12	2	6	7	12	57	106
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Brasil)	6	9	124	13,78	0	1	1	3	2	2	0	0	1	16	44	63
Fundamental Research Funds for the Central Universities (China)	4	5	35	7,00	0	0	1	2	1	1	0	0	1	3	17	14
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Brasil)	4	7	67	9,57	1	0	2	1	1	2	0	2	3	8	20	34
Ministry of Higher Education (Malásia)	4	4	37	9,25	0	1	0	2	1	0	0	0	3	6	9	19
China Postdoctoral Science Foundation (China)	4	5	37	7,40	0	0	0	1	2	2	0	0	0	1	10	26
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Brasil)	3	7	49	7,00	1	0	1	1	0	4	0	2	3	8	19	17

(conclusão)

Centro de Financiamento	H Index Tema	Número de Publicações	Número de Citações	Citações/Publicação	Evolução de publicações por ano						Evolução de citações por ano					
					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ministry of Environmental Protection (China)	3	3	52	17,33	1	0	1	0	1	0	2	5	5	13	14	13
Natural Science Foundation of Shandong Province (China)	3	4	25	6,25	0	1	0	0	0	3	0	0	4	5	6	10
Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (Canadá)	2	3	32	10,67	0	0	0	1	1	1	0	0	0	7	4	21

Fonte: Scopus (2020)

APÊNDICE E - Top 10 periódicos científicos mais citados no tema

Periódico Científico	H Index Tema	Número de Publicações	Número de Citações	Citações/Publicação	Evolução de publicações por ano						Evolução de citações por ano					
					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Journal Of Cleaner Production	27	173	2530	14,62	8	20	33	40	36	36	9	59	199	432	726	1105
Clean Technologies And Environmental Policy	3	8	29	3,63	0	1	2	2	2	1	0	0	7	6	10	6
Sustainability Switzerland	3	6	14	2,33	1	0	0	1	1	3	0	1	0	0	3	10
Chemical Engineering Transactions	2	4	8	2,00	2	0	0	0	2	0	0	1	1	0	2	4
Arpn Journal Of Engineering And Applied Sciences	0	3	0	0,00	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Scopus (2020)

APÊNDICE F - Top 30 artigos mais citados no tema

(continua)

Ranking	Título do Artigo	Autores	Ano	Periódico	Citações	Citações / Ano	Evolução das citações (2014-2019)					
							2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Cleaner energy for cleaner production: modelling, simulation, optimisation and waste management	Yong, Jun Yow; Klemes, Jiri Jaromir; Varbanov, Petar Sabev; et al.	2016	Journal of Cleaner Production	82	27,33	0	0	19	31	18	14
2	From cleaner production to sustainable development: The role of academia	Khalili, N.R., Duecker, S., Ashton, W., Chavez, F.	2015	Journal of Cleaner Production	72	18,00	0	9	15	13	18	17
3	Application of fuzzy analytic network process for barrier evaluation in automotive parts remanufacturing towards cleaner production - A study in an Indian scenario	Govindan, K., Madan Shankar, K., Kannan, D.	2016	Journal of Cleaner Production	63	21,00	0	0	9	18	16	20
4	A new processing route for cleaner production of biodiesel fuel using a choline chloride based deep eutectic solvent	Hayyan, A., Hashim, M.A., Hayyan, M., Mjalli, F.S., Alnashef, I.M.	2014	Journal of Cleaner Production	60	12,00	1	11	12	12	12	12
5	Cleaner production, environmental sustainability and organizational performance: An empirical study in the Brazilian metal-mechanic industry	Severo, E.A., De Guimarães, J.C.F., Dorion, E.C.H., Nodari, C.H.	2015	Journal of Cleaner Production	59	14,75	0	4	6	19	15	15

(continuação)

Ranking	Título do Artigo	Autores	Ano	Periódico	Citações	Citações / Ano	Evolução das citações (2014-2019)					
							2014	2015	2016	2017	2018	2019
6	Cleaner production of methyl ester using waste cooking oil derived from palm olein using a hydrodynamic cavitation reactor	Chuah, L.F., Yusup, S., Abd Aziz, A.R., Bokhari, A., Abdullah, M.Z.	2016	Journal of Cleaner Production	50	16,67	0	1	13	10	11	15
7	An approach to cleaner production for machining hardened steel using different cooling-lubrication conditions	Mia, M., Gupta, M.K., Singh, G., Królczyk, G., Pimenov, D.Y.	2018	Journal of Cleaner Production	45	45,00	0	0	0	0	8	37
8	Cleaner production and environmental management as sustainable product innovation antecedents: A survey in Brazilian industries	Severo, E.A., Guimarães, J.C.F.D., Dorion, E.C.H.	2017	Journal of Cleaner Production	40	20,00	0	0	0	6	11	23
9	Integrating cleaner production into sustainability strategies: An introduction to this special volume	Almeida, C.M.V.B., Agostinho, F., Giannetti, B.F., Huisingh, D.	2015	Journal of Cleaner Production	39	9,75	0	1	13	6	10	9
10	Renewable energy technologies as beacon of cleaner production: A real options valuation analysis for Liberia	Wesseh, P.K., Lin, B.	2015	Journal of Cleaner Production	39	9,75	0	0	15	12	4	8

(continuação)

Ranking	Título do Artigo	Autores	Ano	Periódico	Citações	Citações / Ano	Evolução das citações (2014-2019)					
							2014	2015	2016	2017	2018	2019
11	LCA as a decision support tool for evaluation of best available techniques (BATs) for cleaner production of iron casting	Yilmaz, O., Anctil, A., Karanfil, T.	2015	Journal of Cleaner Production	37	9,25	0	3	8	8	10	8
12	Cleaner production of rubber seed oil methyl ester using a hydrodynamic cavitation: optimisation and parametric study	Bokhari, A., Chuah, L.F., Yusup, S., (...), Akbar, M.M., Kamil, R.N.M.	2016	Journal of Cleaner Production	36	12,00	0	0	1	10	13	12
13	Organizational learning in cleaner production among Mexican supply networks	Van Hoof, B.	2014	Journal of Cleaner Production	35	7,00	1	2	9	8	6	9
14	Cleaner production of cleaner fuels: Wind-to-wheel-environmental assessment of CO ₂ -based oxymethylene ether as a drop-in fuel	Deutz, S., Bongartz, D., Heuser, B., (...), Pischinger, S., Bardow, A.	2018	Energy and Environmental Science	34	34,00	0	0	0	0	9	25
15	A methodology for assessing cleaner production in the vanadium extraction industry	Jia, L., Zhang, Y., Tao, L., Jing, H., Bao, S.	2014	Journal of Cleaner Production	33	6,60	2	5	3	11	4	8

(continuação)

Ranking	Título do Artigo	Autores	Ano	Periódico	Citações	Citações / Ano	Evolução das citações (2014-2019)					
							2014	2015	2016	2017	2018	2019
16	On the evolution of “Cleaner Production” as a concept and a practice	Hens, L., Block, C., Cabello-Eras, J.J., (...), Haeseldonckx, D., Vandecasteele, C.	2018	Journal of Cleaner Production	32	32,00	0	0	0	0	7	25
17	A novel plant for fabric rope dyeing in supercritical carbon dioxide and its cleaner production	Long, J.-J., Xu, H.-M., Cui, C.-L., (...), Chen, F., Cheng, A.-K.	2014	Journal of Cleaner Production	32	6,40	2	6	4	6	7	7
18	Sustainable value and cleaner production - Research and application in 19 Portuguese SME	Henriques, J., Catarino, J.	2015	Journal of Cleaner Production	32	8,00	0	4	4	8	7	9
19	Are cleaner production innovations the solution for small mining operations in poor regions? the case of Padua in Brazil	Silvestre, B.S., Silva Neto, R.E.	2014	Journal of Cleaner Production	31	6,20	1	1	4	7	9	9
20	Environmental Management System ISO 14001 factors for promoting the adoption of Cleaner Production practices	De Oliveira, J.A., Oliveira, O.J., Ometto, A.R., Ferraud, A.S., Salgado, M.H.	2016	Journal of Cleaner Production	30	10,00	0	0	1	5	12	12

(continuação)

Ranking	Título do Artigo	Autores	Ano	Periódico	Citações	Citações / Ano	Evolução das citações (2014-2019)					
							2014	2015	2016	2017	2018	2019
21	Towards cleaner production: a roadmap for predicting product end-of-life costs at early design concept	Cheung, W.M., Marsh, R., Griffin, P.W., (...), Mileham, A.R., Lanhham, J.D.	2015	Journal of Cleaner Production	29	7,25	0	1	2	10	8	8
22	A review of cleaner production in electroplating industries using electrodialysis	Scarazzato, T., Panossian, Z., Tenório, J.A.S., Pérez-Herranz, V., Espinosa, D.C.R.	2017	Journal of Cleaner Production	28	14,00	0	0	0	0	11	17
23	Drivers of sustainable cleaner production and sustainable energy options	Sáez-Martínez, F.J., Lefebvre, G., Hernández, J.J., Clark, J.H.	2016	Journal of Cleaner Production	27	9,00	0	0	0	3	12	12
24	Sustainable textile production: cleaner production assessment/eco-efficiency analysis study in a textile mill	Ozturk, E., Koseoglu, H., Karaboyaci, M., (...), Yetis, U., Kitis, M.	2016	Journal of Cleaner Production	26	8,67	0	0	2	7	10	7
25	Cleaner energy for cleaner production: Modeling and optimization of biogas generation from Carica papayas (Pawpaw) fruit peels	Dahunsi, S.O., Oranusi, S., Efevbokhan, V.E.	2017	Journal of Cleaner Production	26	13,00	0	0	0	3	8	15

(conclusão)

Ranking	Título do Artigo	Autores	Ano	Periódico	Citações	Citações / Ano	Evolução das citações (2014-2019)					
							2014	2015	2016	2017	2018	2019
26	Cleaner production in Pakistan's leather and textile sectors	Ortolano, L., Sanchez-Triana, E., Afzal, J., Ali, C.L., Rebellón, S.A.	2014	Journal of Cleaner Production	26	5,20	0	3	1	8	6	8
27	Cleaner Production towards a sustainable transition	Almeida, C.M.V.B., Agostinho, F., Huisingh, D., Giannetti, B.F.	2017	Journal of Cleaner Production	24	12,00	0	0	0	1	8	15
28	Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: Hotspots and cleaner production alternatives	Silva, D.A.L., Raymundo Pavan, A.L., Augusto De Oliveira, J., Ometto, A.R.	2015	Journal of Cleaner Production	24	6,00	0	0	0	8	9	7
29	Material flow management and cleaner production of cassava processing for future food, feed and fuel in Thailand	Jakrawatana, N., Pिंगmuangleka, P., Gheewala, S.H.	2016	Journal of Cleaner Production	22	7,33	0	0	1	8	8	5
30	Life cycle assessment of three Peruvian fishmeal plants: Toward a cleaner production	Fréon, P., Durand, H., Avadí, A., Huaranca, S., Orozco Moreyra, R.	2017	Journal of Cleaner Production	22	11,00	0	0	0	2	8	12

Fonte: Scopus (2020)