

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” FACULDADE
DE ENGENHARIA DE BAURU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

FERNANDA AMORIM FARIAS

**ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR DE GERAÇÃO DE ENERGIA:
PROPOSIÇÃO DE UM FRAMEWORK PARA ADOÇÃO DE PRÁTICAS EM
GERADORAS CENTRALIZADAS DE ENERGIA RENOVÁVEL**

BAURU/SP

2025

**ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR DE GERAÇÃO DE ENERGIA: PROPOSIÇÃO DE UM
FRAMEWORK PARA ADOÇÃO DE PRÁTICAS EM GERADORAS CENTRALIZADAS DE
ENERGIA RENOVÁVEL**

FERNANDA AMORIM FARIAS

Texto de dissertação de mestrado apresentado como exigência para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Campus Bauru, sob orientação do Prof. Dr. Daniel Jugend.

BAURU/SP

2025

F224e	Farias, Fernanda Amorim Economia Circular no setor de geração de energia: Proposição de uma framework para adoção de práticas em geradoras centralizadas de energia renovável / Fernanda Amorim Farias. -- Bauru, 2025 110 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Bauru Orientador: Daniel Jugend Coorientador: Sanderson Cesar Macedo Barbalho 1. Economia Circular. 2. Energia Limpa. 3. Energia Renovável. 4. Fuzzy Delphi. I. Título.
-------	---

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE FERNANDA AMORIM FARIAS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 11 dias do mês de fevereiro do ano de 2025, às 15h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de FERNANDA AMORIM FARIAS, intitulada **ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR DE GERAÇÃO DE ENERGIA: PROPOSIÇÃO DE UM FRAMEWORK PARA ADOÇÃO DE PRÁTICAS EM GERADORAS CENTRALIZADAS DE ENERGIA RENOVÁVEL**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. DANIEL JUGEND (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Estadual Paulista (Unesp) - Faculdade de Engenharia - Câmpus Bauru, Prof. Dr. FABIANO ARMELLINI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Matemática e Engenharia Industrial / École Polytechnique de Montréal, Prof.^a Dr.^a PAULA DE CAMARGO FIORINI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Unesp - Faculdade de Engenharia - Câmpus Bauru. Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. DANIEL JUGEND

RESUMO

A utilização de energia renovável tem sido uma tendência mundial e é também considerada parte fundamental na mitigação dos impactos relacionados as mudanças climáticas e de segurança energética. Muito embora o tema de energia por fontes renováveis esteja crescente nas agendas de pesquisas, pouco ainda se sabe sobre como o setor de geração de energia renovável tem atuado para reduzir os impactos ambientais, principalmente em relação aos materiais finitos utilizados para a geração e os resíduos gerados durante o fim do ciclo de vida, sobretudo nas fontes eólica e solar. Para contribuir com esse tema, a presente pesquisa tem como objetivo propor um *framework* conceitual que integra práticas de economia circular em empresas geradoras centralizadas de energia renovável. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura nos temas e economia circular e energia renovável e, também, uma análise de relatórios de sustentabilidade de empresas do setor de energia classificadas como ESG. Para avaliação e priorização das principais práticas analisadas por especialistas da área, foi aplicado o método *Fuzzy Delphi*. Os resultados da revisão sistemática e da priorização com o método *Fuzzy Delphi* indicaram 26 práticas divididas em quatro principais categorias da economia circular que obtiveram consenso entre os especialistas na avaliação do *framework* conceitual proposto, são eles: Cadeia de Suprimentos e Valor, 4Rs, Política, Academia e Ciência e Tecnologia. Nesse sentido, as práticas relacionadas com formalização em contrato com os fornecedores na participação do processo dos custos de reciclagem dos equipamentos de geração, criação de parcerias e de uma rede de informação entre os produtores e os recicladores, na categoria Cadeia de Suprimentos, e as práticas, destinação de forma adequada de placas fotovoltaicas substituídas, reutilização de água em sistemas de captação de água da chuva e tratamento para reuso, e o aumento da quantidade de reciclagem de materiais relacionados as pás eólicas na categoria de 4Rs, se destacaram nas respostas dos especialistas.

Palavras-chave: *Economia Circular. Energia Limpa. Energia Renovável. Fuzzy Delphi.*

ABSTRACT

The use of renewable energy has been a global trend and is also considered a fundamental part of mitigating impacts related to climate change and energy security. Although the topic of renewable energy sources is increasingly on the research agenda, little is known about how the renewable energy generation sector has acted to reduce environmental impacts, especially in relation to the finite materials used for generation and the waste generated during the end of the life cycle, especially in wind and solar sources. To contribute to this topic, this research aims to propose a conceptual framework that integrates circular economy practices in centralized renewable energy generating companies. To this end, a systematic review of the literature on the topics of circular economy and renewable energy was carried out, as well as an analysis of sustainability reports of companies in the energy sector classified as ESG. The Fuzzy Delphi method was applied to evaluate and prioritize the main practices analyzed by experts in the field. The results of the systematic review and prioritization with the Fuzzy Delphi method indicated 26 practices divided into four main categories of the circular economy that obtained consensus among the experts in the evaluation of the proposed conceptual framework, namely: Supply Chain and Value, 4Rs, Politics, Academia, and Science and Technology. In this sense, the practices related to formalizing in a contract with suppliers the participation in the process of recycling costs of generation equipment, creating partnerships and an information network between producers and recyclers, in the Supply Chain category, and the practices, appropriate disposal of replaced photovoltaic panels, reuse of water in rainwater collection systems and treatment for reuse, and increasing the amount of recycling of materials related to wind blades in the 4Rs category, stood out in the experts' responses.

Keywords: *Circular Economy. Clean Energy. Renewable Energy. Fuzzy Delphi*

LISTA DE FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Aplicação de “estratégias R” para economia circular em tecnologias de geração de energia.....	19
Figura 2. Fluxo de Energia.....	22
Figura 3. Fluxo PRISMA com as diferentes fases da revisão sistemática	26
Figura 4. Representação gráfica da estrutura da EC.	29
Figura 5. Critério de revisão dos relatórios de sustentabilidade corporativa.	32
Figura 6 – Participação na geração de eletricidade renovável por tecnologia, 2000-2024.....	39
Figura 7 – Quantidade de artigos por região.	42
Figura 8 – Framework de práticas da EC em geradoras de energia renovável.....	59
Figura 9 – Framework Conceitual de práticas da EC em geradoras centralizadas de energia renovável.....	81

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 – Dimensões da EC e seus conceitos.....	29
Quadro 2 –Exemplo de integração das práticas.	31
Tabela 1 – Formação e Cargos dos especialistas	35
Tabela 2 – Escala Likert de cinco termos linguísticos para números <i>fuzzy</i> triangulares	35
Tabela 3 – Quantidade de periódicos.....	39
Quadro 3 – Artigos identificados.....	41
Tabela 4 – Palavras-Chave.....	43
Tabela 5 – Quantidade de Práticas do modelo circular por categoria.....	44
Quadro 4 –Práticas do modelo circular por categoria da literatura.....	47
Quadro 5 – Empresas por cadeia de valor.....	49
Tabela 6 – Relação e quantidade palavras nos relatórios de sustentabilidade.....	50
Tabela 7 – Práticas do modelo circular nos relatórios de sustentabilidade.....	50
Quadro 6 – Práticas identificadas nos relatórios de sustentabilidade corporativos.....	53
Quadro 7 – Práticas integradas da literatura e relatórios de sustentabilidade corporativa.....	57
Quadro 8 – Framework para aplicação de práticas da EC em geradoras centralizas de energia renovável.....	61
Tabela 8 – Aceitabilidade e Consenso para Cadeia de Suprimentos.....	68
Tabela 9 – Aceitabilidade e Consenso para 4Rs (Reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar)	69
Tabela 10 – Aceitabilidade e Consenso para Política, Ciência e Academia.....	69
Tabela 11– Aceitabilidade e Consenso para Tecnologias.....	70
Quadro 9 – Práticas elegidas pelos especialistas em ordem crescente.....	71
Quadro 10 – Resultados das respostas abertas do questionário.....	74

LISTA DE ABREVIACÕES

EC – Economia Circular

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Contextualização do tema	10
1.2. Justificativas	12
1.3. Questão e objetivo da pesquisa	14
1.4. Estrutura da dissertação	14
2. REVISÃO TEÓRICA.....	16
2.1. Economia Circular.....	16
2.2. Relações entre Economia Circular e Energia Renovável	19
2.3. Geradoras Centralizadas de Energia.....	21
3. MÉTODO DE PESQUISA	25
3.1. Identificação dos artigos.....	26
3.2. Seleção.....	27
3.3. Critérios de Elegibilidade.....	28
3.4. Critérios de Inclusão.....	30
3.5. Critérios de revisão dos Relatórios de Sustentabilidade Corporativa	31
3.6. Metodologia Fuzzy Delphi.....	33
4. RESULTADOS.....	38
4.1. Resultados da Análise Bibliométrica dos artigos publicados sobre EC e ER	38
4.1.1. Publicações por ano	38
4.1.2. Principais periódicos	39
1.1.1. Identificação dos autores	40
4.1.4. Distribuição por países e regiões	42
4.1.5. Palavras-Chave	43
4.1.6. Categorias das práticas do modelo circular	43
4.1.7. Práticas do modelo circular	44
4.2. Resultados da pesquisa nos relatórios de sustentabilidade corporativa	49
4.3. Integração das práticas da literatura e dos relatórios de sustentabilidade corporativa.....	54
4.4. Framework conceitual de práticas da economia circular para geradoras de energia renovável	59

4.5. Resultados Fuzzy Delphi.....	68
4.6. Resultados das questões abertas	73
4.7. Discussões	76
5. Conclusões	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO PARA OS ESPECIALISTAS	106 ¹⁰⁵

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização do tema

A evolução tecnológica e o cenário competitivo no setor empresarial são fatores que em conjunto aumentam o consumo de energia e contribuem substancialmente para o aumento de emissões de CO₂ e a degradação ambiental. Tanto países desenvolvidos quanto em desenvolvimento usam energia de forma acentuada em suas atividades produtivas em busca de crescimento econômico, atividades estas que deterioram a qualidade ambiental e a quantidade de resíduos gerados (ASLAN et al. 2024). Neste contexto, muitas empresas têm se deparado com a necessidade de alinhar suas capacidades produtivas com o meio ambiente e visão de futuro, devido ao grande impacto que suas atividades produtivas podem causar ambientalmente (BRUNDAGE, 2018).

De acordo com o sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*, caso medidas não sejam tomadas, as consequências das ações humanas no meio ambiente podem ser irreversíveis, e para evitar que este cenário se concretize, empresas, governos e sociedade têm buscado contribuir com ações que unam prosperidade e crescimento com sustentabilidade, buscando a mudança de uma economia baseada em linearidade para um modelo circular, que promova regeneração, restauração e redução de resíduos (CNI, 2018).

Em se tratando de energia, o consumo por fontes convencionais como carvão e petróleo, principalmente em indústrias e transporte, favorecem ao esgotamento dos combustíveis fósseis e o aumento de problemas de poluição ambiental (YANG et al. 2022). Neste sentido a geração de energia renovável é considerada estratégica, devido aos seus benefícios, dentre eles a diminuição da carga por fontes de energia convencionais, preservação da produção em escala global e segurança energética (UWUIGBEL et al. 2024). No setor de energia, a economia circular, está relacionada no desenvolvimento de soluções para problemas de eficiência no processo de geração de energia, aplicação final da energia gerada, promoção da reciclagem, transformação de resíduos em fontes de energia e segurança energética (SOHAIL et al. 2025).

Nos últimos anos, as contribuições sobre o tema da economia circular, têm se referido a modelo de negócios circulares, criação de valor na cadeia de suprimentos, os 4Rs (reduzir, reutilizar e reciclar, recuperar), e um número significativo de estudos sobre a relação do modelo com o desenvolvimento sustentável (KIRCHHERR, et al 2023). Esse conceito propõe uma abordagem em que o sistema de produção e consumo se concentra em manter componentes, materiais e energia em circulação, mantendo seu valor pelo maior tempo possível (DIAS et al.

2022).

A economia circular representa uma mudança na forma em que produção e consumo são realizados no atual modelo linear, o qual se baseia na produção através da extração de recursos virgens que são descartados pós consumo (FINDIK et al. 2023). Uma transição do modelo linear para a circularidade envolve alguns enfoques, novos modelos de negócio pelas empresas e a participação de decisores políticos para a criação de condições favoráveis ao desenvolvimento de produtos e serviços circulares (LEWANDOWSKI. 2016; DAS et al. 2022).

A complexidade e novidade do modelo proposto pela EC levanta uma série de desafios que exigem a conexão com outras disciplinas e áreas de conhecimento (SAUVÉ et al. 2016). Para enfrentar a questão ambiental muitos estudos têm integrado o conceito da economia circular com outros temas e disciplinas, como inovação aberta e ecossistema de inovação (KONIETZKO et al., 2020; JESUS E MENDONÇA, 2018), design de modelos de negócios e sistemas de negócios (LEWANDOWSKI. 2016; GUTBERLET et al. 2023; DAS et al. 2022), design de produtos (HOLLANDER et al. 2017), construção civil circular (NUBHOLZ et al. 2023) indústria 4.0 (FINDIK et al. 2023), cadeia de suprimentos e logística (KHAN e ALI. 2022; KHAN et al. 2022), gestão de operações (JABBOUR et al. 2019), energia renovável (KIVIRANTA et al. 2020; GALLAGHER et al. 2017; CUSENZA et al. 2019; ALVES et al. 2021; KNABLE et al. 2022), entre outras.

A energia renovável e sua geração tem uma relação direta com a aplicação de modelos de negócios circulares de empresas de quaisquer setores industriais, uma vez que além de oferecer energia renovável é uma alternativa que tem potencial para a diminuição da degradação ecológica e das emissões de gases de efeito estufa (JESUS et al. 2021). Segundo dados da International Renewable Energy Agency (IRENA, 2022), para alcançar a meta de emissões de CO₂ em 1,5°C, o setor elétrico terá que ser completamente descarbonizado até metade do século, sobretudo com energia solar e eólica liderando a transformação. O aumento e acesso de energia renovável também é um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável; a ODS 7 - Garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos, possui metas de aumento da porcentagem do acesso da população à energia confiável e prevê também que até 2030 exista uma cooperação internacional para facilitar o acesso à pesquisa e tecnologias de energia limpa, energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis, com a promoção de investimento em infraestrutura de energias mais limpas (IPEA, 2019).

No entanto, apesar de estudos recentes apontarem a energia renovável como tendência da sustentabilidade ambiental (KNABLE et al. 2022; GUNEY. 2021), pouco se sabe sobre as práticas de EC adotadas no setor de energia renovável. Segundo a Fundação Ellen MacArthur

(2022), é necessário analisar como a abordagem da EC pode ser utilizada nas infraestruturas das renováveis, pois os materiais utilizados para capturar e armazenar energia são finitos; a indústria de turbinas eólicas e painéis solares, por exemplo, têm crescido exponencialmente com uma previsão de gerar 43 milhões de toneladas de pás eólicas e 78 milhões de toneladas de painéis solares até 2050. Estas são algumas razões para o estudo das práticas de economia circular neste setor, que se somam ao impacto do mercado da energia na economia dos países (KNABLE et al. 2022), o envolvimento de diferentes ecossistemas no desenvolvimento do setor (DELLOITE, 2023), e a utilização de materiais para geração e armazenamento que seguem o modelo linear de “extrair-usar-descartar” (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2022).

Neste contexto, este estudo contribui com o tema EC no setor de energia renovável ao propor um framework que aborda um conjunto de práticas de EC aplicadas a empresas de energia renovável. Em um primeiro momento esse framework foi desenvolvido e proposto a partir de revisão sistemática da literatura e análise de relatórios de sustentabilidade de empresas de energia renovável. Em um segundo momento, essas práticas foram avaliadas por 14 especialistas e priorizadas por meio de Fuzzy Delphi.

1.2. Justificativas

Estudos encontrados na literatura demonstram a importância da energia renovável para o alcance de objetivos sustentáveis e para a mudança de um modelo linear para o modelo circular (HEADING et al. 2021). No entanto, ainda existem oportunidades de estudo sobre a relação entre a Economia Circular e as geradoras centralizadas de energia renovável.

O setor de geração de energia renovável é o segmento responsável por produzir energia elétrica e injetá-la nos sistemas de transmissão e distribuição. Nos últimos anos este setor tem sido estudado nos temas de transição e eficiência energética, tanto no modelo de produção quanto no de consumo (DROSOS et al. 2021). Em 2023 o sistema energético mundial adicionou cerca de 560 (GW) de nova capacidade de energia renovável, sendo 60% da capacidade de geração por fontes renováveis acrescentadas, provenientes da China. (IEA, 2024).

Existem dois modelos de geração de energia, o mais tradicional conhecido como geração centralizada e o modelo de geração distribuída, a geração centralizada é caracterizada pelas usinas de grande porte que ficam distantes dos pontos consumidores e são conectadas a grandes linhas de transmissão e distribuição, com alta potência de geração para atendimento do

consumo (SEVERINO et al. 2008). As geradoras centralizadas de energia possuem vida útil elevada, os painéis fotovoltaicos, por exemplo, possuem vida útil estimada de 25 anos (KOZEN e PEREIRA, 2020), enquanto equipamentos que compõem a fonte eólica tem vida útil de cerca de 20 anos (EPE, 2021). As geradoras são compostas por grandes infraestruturas que se utilizam de materiais finitos para captar e gerar a energia. No entanto, à medida que o setor cresce, aumenta-se também as infraestruturas concebidas no modelo de “retirar, produzir e descartar”. Uma forma de evitar que o crescimento da geração por fontes renováveis seja um problema é construir um modelo de infraestrutura, operação, manutenção e fim de vida útil com base nas estratégias da economia circular (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).

Em busca de respostas para o problema do crescimento do setor de geração centralizada de energia sem um modelo circular que o torne mais sustentável, foi realizada uma pesquisa na literatura, tendo sido observado que poucos trabalhos tinham foco neste modelo de geração. Em muitos artigos, a integração dos dois temas foi tratada de forma geral com modelos de negócios, descarbonização e benefícios da utilização de fontes e tecnologias renováveis como baterias para armazenamento de energia, painéis solares e veículos elétricos.

Aliado à oportunidade da literatura e somado ao fato de que o setor de geração de energia renovável deve continuar em expansão nos próximos anos, é importante saber quais mudanças estratégicas são passíveis de adoção no setor, de forma a tornar o sistema mais resiliente, inclusivo e sustentável frente às alterações climáticas. Estudar o setor e práticas circulares permite também auxiliar as organizações deste setor a terem iniciativas pautadas na Agenda ESG, e com compromisso nas ODS da agenda de 2030 da ONU, principalmente a ODS 07, que defende a importância da energia limpa e acessível e a transição energética, aumentando a geração por fontes renováveis (ONU, 2023).

Assim, a importância e relevância de se analisar quais práticas da economia circular podem ser passíveis de adoção nas geradoras centralizadas de energia renovável, está no fato de que estas empresas possuem um papel considerável no ecossistema em que estão inseridas, e estão em constante crescimento, com consumidores e sociedade cada vez mais conscientes dos impactos sociais e ambientais que as atividades produtivas podem causar. Os modelos tradicionais das geradoras irão se deparar cada vez mais com a necessidade de se adaptar a um modelo que supra as necessidades atuais de consumo com suas infraestruturas vultuosas, garantindo proteção ao meio ambiente, clima e pessoas.

1.3. Questão e objetivo da pesquisa

Diante dos argumentos aqui expostos a presente proposta de pesquisa parte da seguinte questão de pesquisa a qual ainda merece maiores investigações:

1.3.1. “Quais práticas da economia circular podem ser utilizadas em geradoras centralizadas de energia renovável para orientar suas operações no modelo circular?”

O objetivo geral desta dissertação é desenvolver e propor um framework conceitual para adoção de práticas da economia circular que sejam aplicáveis a empresas que atuam no setor de energia renovável. Este objetivo geral pode ser desdobrado nos seguintes objetivos intermediários:

- Identificar e analisar na literatura científica práticas da EC aplicadas a empresas de energia renovável;
- Identificar e analisar práticas de EC adotadas por geradoras centralizadas de energia renovável através dos relatórios de sustentabilidade corporativa (relatórios ESG);
- Avaliar e priorizar as práticas do framework conceitual com especialistas do setor de energia renovável das áreas ambientais, de sustentabilidade e de economia circular.
- Desenvolver e propor um framework conceitual para a adoção da EC em geradoras centralizadas de energia.

1.4. Estrutura da dissertação

Este trabalho é estruturado em cinco capítulos. Na introdução é apresentada a contextualização do tema, com identificação das lacunas, objetivos, justificativa para o trabalho e o método científico para o trabalho. O segundo capítulo apresenta a revisão teórica, caracterizando os principais conceitos que envolvem o tema do trabalho: economia circular, geradoras centralizadas de energia renovável e a relação entre economia circular e energia renovável.

O terceiro capítulo descreve o método de pesquisa, no qual é descrito a sequência de atividades para a revisão sistemática da literatura com a aplicação da metodologia PRISMA para os artigos da literatura, e dos relatórios de sustentabilidade corporativa através da busca no site da ISE B3. Ambos descrevem as etapas de identificação, seleção, critérios de elegibilidade e inclusão dos artigos e relatórios. No mesmo capítulo é apresentado o método Fuzzy Delphi,

com a conceitualização do método e sua aplicabilidade, e as etapas que foram realizadas como a validação do questionário, aplicação do questionário por especialistas e a análise dos resultados do questionário.

O quarto capítulo apresenta os resultados sendo, neste mesmo capítulo, os resultados bibliométricos dos artigos, os resultados da análise dos relatórios de sustentabilidade corporativa, os quadros com as práticas levantadas, o framework conceitual e os resultados do Fuzzy Delphi e discussões. O quinto apresenta as conclusões dessa pesquisa, juntamente, com as possibilidades de pesquisas futuras.

2. REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a revisão teórica desta dissertação, que apresenta três temas: economia circular (EC), geradoras centralizadas de energia renovável e a relação entre EC e a geração de energia renovável.

2.1. Economia Circular

O conceito da EC tem sido promovido pela União Europeia e por vários governos, incluindo China, Japão, Reino Unido, França, Canadá, Suécia e Finlândia (STEWART E NIERO, 2018; KORHONEN et al. 2018). As contribuições dos estudos têm se referido a modelos de negócios circulares, criação de valor na cadeia de suprimentos, os 4Rs (reduzir, reutilizar, reciclar e recuperar), além de um número significativo de estudos da relação entre EC e desenvolvimento sustentável (PIETRO – SANDOVAL, 2018; KIRCHHERR et al. 2023).

Apesar da relevância da EC nos debates políticos e econômicos, o seu conceito continua aberto a interpretações (MORSELETTTO, 2020). Os estudiosos da área classificaram os estudos teóricos da EC em diferentes critérios, como drivers e barreias na adoção (RANTA et al., 2018; DE JESUS E MENDONÇA, 2018; SOUSA-ZOMER et al. 2018), formas de implementação (LIEDER e RASHID, 2016; LONZANO e BARREIRO – GEN, 2020; UPADHYAY et al. 2021; PIETRO – SANDOVAL et al. 2018), modelos de negócios (INGEMARSDOTTER et al. 2020; KONIETZKO et al. 2020; LEWANDOWSKI, 2016; NUBHOLZ, 2017), e metas de performance (BAG e RAHMAN, 2023; MORSELETTTO, 2020).

Além das várias interpretações da EC, muitos estudos também discutem sobre a EC e a sustentabilidade (GEISSDOERFER et al. 2017); muito embora a EC possa servir como um caminho para o atingimento de objetivos de sustentabilidade e possa permitir uma transição para a EC, a adoção da circularidade em si não garante resultados positivos no âmbito ambiental, social e econômico (WALKER et al. 2022). Desta forma o conceito da EC não está baseado somente na sustentabilidade, mas sim como um modelo projetado para ser capaz de se regenerar através de materiais orgânicos e renováveis, ambos destinados a passar pelo ciclo da produção ao consumo com perda mínima de qualidade (GAZZOLA et al. 2020).

A EC pode ser definida como um sistema econômico baseado em um modelo de negócios que substitui o conceito de fim de vida, pela regeneração e redução do desperdício e de recursos materiais (KIRCHHERR et al. (2017); um modelo que visa o uso eficiente dos recursos, retenção de valor a longo prazo e que tem potencial de dissociar o crescimento econômico das consequências negativas da degradação ambiental e esgotamento dos recursos naturais (MURRAY et al. 2017). A EC então, tem o objetivo de mudar o consumo de recursos

e alcançar um modelo de consumo em que não exista a dependência da extração de recursos virgens, como ocorre no modelo linear, mas sim propor um sistema de reutilização e reciclagem de produtos e promover fluxos compatíveis com a capacidade de recuperação de sistemas biológicos e de suporte à vida (JESUS E JUGEND, 2021).

O modelo circular visa proteger o meio ambiente e prevenir a poluição por meio do desenvolvimento de produtos, processos de produção, distribuição, tecnologias e de novas práticas de consumo (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2022; KIRCHHERR et al., 2017; GEISSDOEFER et al. 2017, MA et al. 2014; PARK et al. 2010). Suas práticas e aplicações a sistemas econômicos evoluíram para conceitos e contribuições que compartilham da ideia de ciclos fechados, (GEISSDOERFER et al., 2017). O conceito de ciclo fechado é uma proposta para ser uma alternativa à economia linear, que possui uma cadeia de valor com a ocorrência de diversas perdas de recursos, desde a cadeia produtiva até os resíduos gerados no fim de vida útil (MICHELINI et al. 2017; JESUS et al. 2021), enquanto os ciclos fechados possuem uma visão sustentada na extração, produção, consumo e descarte de materiais (KORHONEN et al. 2018).

Segundo a Fundação Ellen MacArthur (2022), o conceito da EC reconhece a importância do seu funcionamento em grandes e pequenas empresas e como uma alternativa na busca de redefinir o processo de crescimento, focado em benefícios para a sociedade. A abordagem orientada para negócios, enfatiza a reutilização de produtos, componentes e materiais, reforma, remanufatura, reparo, utilização de energia solar e eólica, promoção do ciclo de materiais de alto valor em conjunto com a reciclagem tradicional e desenvolvimento do ambiente de negócios com abordagens de cooperação entre formuladores de políticas, empresas, produtores, consumidores e demais atores (KORHONEN et al. 2018; UNAL e SHAO, 2019).

Existem motivadores que beneficiam a adoção da EC, ao mesmo tempo em que existem barreiras que impedem seu uso mais abrangente (ELKINS et al. 2019). Os motivadores, podem ser organizacionais e institucionais, como o governo e suas legislações; já as barreiras podem ser falta de treinamento e educação, políticas das empresas, e falta de métricas de performance apropriadas (JIA et al. 2020). Em seu estudo Morseletto (2020), analisou quais metas podem facilitar a transição para a EC e qual o papel das metas para sua implementação em uma perspectiva de governança e através das definições dos 10Rs (recusar, repensar, reduzir, reutilizar, reparar, remodelar, reaproveitar, recuperar, reciclar), propostos por Potting et al (2017), Morseletto (2020), investigou a correlação entre as dez estratégias e as possíveis metas. O estudo evidenciou que algumas metas da EC podem abordar múltiplas estratégias, como

reparar, remanufaturar e reformar, que se bem planejadas, podem estender de forma efetiva o fim de vida útil de produtos, enquanto metas de recuperação e reciclagem podem não promover a EC, uma vez estas atividades destroem a integridade dos produtos.

Outros autores também analisaram as estratégias da EC em diferentes critérios, Konietzko, Bocken e Hultink (2020), por exemplo, propuseram cinco estratégias que auxiliam as empresas a avançarem em direção ao modelo de negócios circular, no desenvolvimento de ecossistemas circulares e de empresas mais inovadoras. São elas:

- *closing* loops, que corresponde a reciclagem de materiais e reincorporação ao ciclo econômico;

- *slowing* loops, estender o ciclo de vida de produtos, refere-se a utilizar produtos, componentes e materiais por mais tempo, e oferecer um produto como um serviço;

- *narrowing* loops, que se refere a redução de materiais e recursos na produção e consumo;

- *regenerate* loops, que engloba a utilização de materiais renováveis e inovações que contribuam para o ciclo natural, e

- *inform*, que foi adicionado como estratégia de apoio, através da utilização da tecnologia da informação como fator essencial para a permitir a adoção de práticas circulares.

Segundo os autores, as quatro primeiras estratégias podem influenciar produtos e materiais, enquanto a última, *inform*, indica estratégias de apoio às demais. Em 2023, Nußholz et al. (2023), também utilizaram as quatro primeiras estratégias (*closing*, *slowing*, *narrowing*, *regenerate*) para propor potenciais ações de descarbonização no setor de construção na Europa.

Já a Fundação Ellen MacArthur (2015) propôs o framework Resolve, que elenca seis ações para conduzir a transição para o modelo circular. As seis ações são: *regenerate* (restaurar ao capital natural), *share* (maximizar a utilização de materiais e produtos), *optimise* (otimizar a performance de sistemas), *loop* (manter produtos e materiais em ciclos maiores), *virtualize* (utilização de produtos e serviços virtuais) e *exchange* (escolha de produtos tecnológicos). É possível verificar a semelhança entre as estratégias apresentadas por Konietzko, Bocken e Hultink (2020) e pelas seis estruturas da Fundação Ellen MacArthur (2015), sinalizando que estas estratégias integradas orientam ações para uma transição ao modelo circular.

Existem outras proposições na literatura que visam auxiliar empresas na implementação das práticas da EC. Stamford et al. (2023), por exemplo, realizaram uma revisão de literatura para analisar os aspectos de sustentabilidade e economia circular para propor um framework (Figura 1) com práticas passíveis de serem adotadas em empresas geradoras de energia geotérmicas.



Estratégias R	Definição	Implementação Geotermica
Reduzir	Melhorar a eficiência no processo de manufatura ou consumir menos recursos naturais e matérias primas	Sistema híbrido com outras fontes de energia
Reuso	Descarte de um material que ainda esta em boas condições e serve em sua função original para outro consumo	Prolongar a vida útil do processo de produção de energia geotérmica e de seus equipamentos afiliados
Reparar	Reparar ou da manutenção no defeito de componentes para que possam ser utilizados em sua função original	
Reformar	Atualizar um produto antigo restaurando	
Remanufaturar	Partes descartadas de um produto podem ser usadas em novos produtos com a mesma performance	
Reaproveitar	Usar um produtos descartado ou partes em um novo produto com diferente propósito	Poços de petróleo e gás Minas de carvão
Reciclar	processar materiais para obter a mesma qualidade (alta qualidade) ou inferior (baixa qualidade)	Materiais de construção Íons e sais metálicos
Recuperar	Incineração de materiais para recuperação de energia	Aquecer Eletricidade

Figura 1: Aplicação de “estratégias R” para economia circular em tecnologias de geração de energia geotérmica. Fonte: Stamford et al. (2023)

A busca das práticas e a proposição do framework seguiu a estrutura dos “10Rs” (recuperar, reciclar, reaproveitar, refabricar, reformar, reparar, reutilizar, reduzir, repensar e recusar) também proposto por Potting et al (2017). Unindo as dez estratégias com o perfil das geradoras geotérmicas, os autores propuseram o framework que ilustra as conexões entre as estratégias e implementações específicas para o caso das geradoras.

2.2. Relações entre Economia Circular e Energia Renovável

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2023), a geração de energia a partir de fontes renováveis representa cerca de 40% do fornecimento total de energia no mundo, sendo as fontes eólica, hídrica e solar as três principais fontes de energia renováveis presentes na matriz elétrica mundial. Segundo dados do Relatório Renováveis 2023 (IEA, 2023), em 2024 as fontes eólica e solar geraram mais eletricidade do que a fonte hídrica, em 2025 e 2026 as duas fontes juntas irão ultrapassar a produção de energia nuclear e em 2028 as fontes renováveis irão representar 42% do total da matriz energética mundial com aumento de 25% das fontes eólica e solar.

Eficiência energética significa gerar a mesma quantidade de energia com menos

recursos naturais ou realizar o mesmo trabalho com menos energia (EPE, 2024). O aumento da energia renovável na matriz global, a participação de empresas na redução de emissão de gases de efeito estufa em suas operações produtivas e a redução da utilização de combustíveis fósseis são ações que podem se beneficiar das práticas da EC. A Redução e consumo consciente de energia por empresas e sociedade, implementação de soluções da indústria 4.0, com remanufatura, gerenciamento do ciclo de vida, serviços inteligentes (SSs) e monitoramento da exploração dos recursos naturais ou das fases do ciclo de vida do produto e integração com tecnologias, são algumas iniciativas da EC que podem beneficiar a energia renovável nos desafios da eficiência energética (EPE, 2024, BOROWSKI, 2022; ROSA et al. 2019)

A transição energética consiste em mudar de uma matriz de consumo de energia que utiliza fontes fósseis para fontes renováveis como sol, água e vento (MME, 2024; MUTEZO E MULPO. 2021). A colaboração da EC com a transição energética possui um enorme potencial no uso mais eficiente de recursos energéticos e no prolongamento da vida útil das tecnologias de geração de energia existentes; prolongar a vida útil de um parque eólico, por exemplo, poderia, a longo prazo, reduzir a necessidade de utilização de energia por fontes fósseis e incentivar iniciativas políticas e pesquisas que conduzam a utilização mais efetiva de energia eólica e solar, reduzindo ao mesmo tempo as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e os impactos na biodiversidade (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2023; BHATTARAI et al. 2022)

Alguns autores examinaram relações entre EC com a energia renovável em diferentes aspectos. Heading et al. (2021), analisaram as limitações geográficas e geopolíticas no fornecimento de recursos críticos para a transição energética e a exigência de uma solução de EC. Eles enunciaram sobre a dependência de recursos naturais para o fornecimento de energia limpa, a necessidade da redução da extração de materiais de locais terrestres e oceânicos e a exigência de que o material existente seja utilizado de maneiras circulares. Para eles, a mudança para um sistema de energias renováveis e a transição para a EC requer uma implementação generalizada de soluções, não apenas do próprio setor de energia, mas de entidades empresariais e agentes políticos.

Majeed e Luni (2020) analisaram as relações dinâmicas entre energia renovável, economia circular e qualidade ambiental em uma amostra de 131 painéis de países europeus e identificaram que as energias renováveis e diferentes práticas de EC melhoram significativamente a qualidade ambiental. Yildizbasi (2021) analisou a utilização da tecnologia de *blockchain* em operações de energia renovável como integração à economia circular, e notou que custos de investimento e tecnologias são os principais obstáculos para a integração de

blockchain e energia renovável. Hossen et al. (2024) investigaram a viabilidade de implementar sistemas de energia descentralizados nos aspectos da economia circular para obtenção de energia sustentável. Os resultados mostraram que a integração dos sistemas de energia descentralizados com os princípios da economia circular apoia na transição para uma energia sustentável, que sejam resilientes e inclusivas no âmbito ambiental e social, através de novos modelos negócios, que incluem cooperativas comunitárias, energia como serviço e energia peer to peer, que permite aos consumidores venderem sua energia para tornar a comunidade dona de sua energia e reduzir a pressão dos sistemas nacionais.

Xie et al. (2024), apresentaram um modelo que combina princípios da economia circular com usinas elétricas virtuais, para aumentar a eficácia do funcionamento das VPP (virtual power plants) no contexto de desenvolvimento sustentável. No modelo das VPP, o gerador assume o papel de agregar a capacidade excedente de energia renovável gerada, com a finalidade de reservar energia e vender ao mercado em tempo de necessidade. Os autores verificaram que a integração dos princípios da economia circular com as VPPs trouxe transformações nos problemas de desperdício de energia com inclusão da comunidade no uso de energia e reciclagem, além da melhora da eficiência e sustentabilidade do ciclo de vida do material.

2.3. Geradoras Centralizadas de Energia

A geração de energia é o primeiro elo da cadeia produtiva do setor energético que possui além da geração, a transmissão, a distribuição, a comercialização e por fim o consumo (ERSE. 2020). O sistema elétrico funciona como uma cadeia, sendo a geração a indústria da ponta da cadeia, gerando energia por fontes que podem ser renováveis, como eólica, solar, hidrelétrica, ou não renováveis, como petróleo, carvão mineral, gás natural e nuclear (EPE. 2023). Como num sistema produtivo comum, o produto energia é transportado por linhas transmissoras e distribuído (entregue) por linhas que estão interligadas desde o início da cadeia (ABRADEE. 2023), conforme observado na Figura 2.

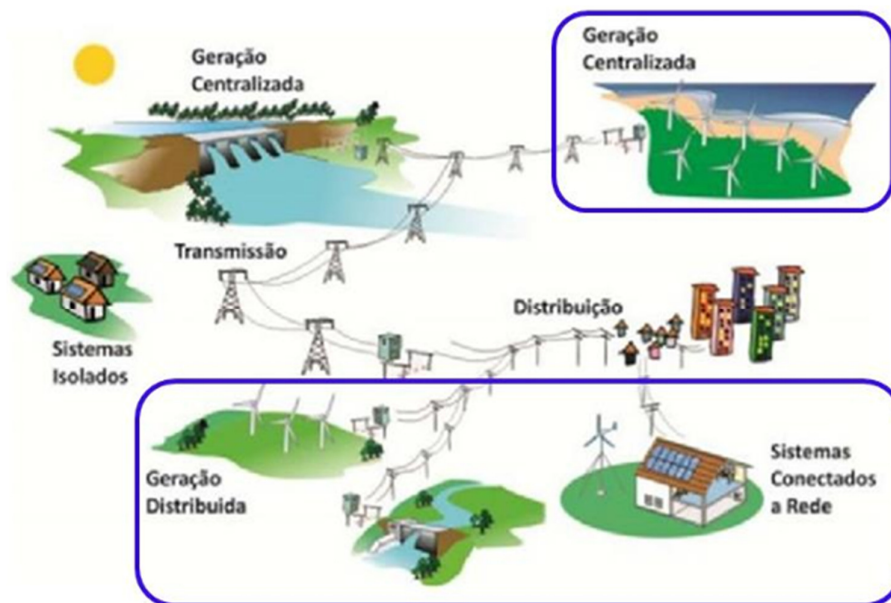


Figura 2. Fluxo de Energia. Fonte: CONERGE (Conselho de Consumidores da Enel Distribuição Ceará) 2019.

O setor de geração possui dois modelos, a geração centralizada e a distribuída ou descentralizada. A geração distribuída (GD) é o modelo de geração elétrica que é realizada próxima do local de consumo, independente da capacidade de produção e fonte de energia. Este modelo de geração tem como vantagem a economia em sistemas de transmissão e consequentemente a redução de perdas no processo. As geradoras distribuídas podem incluir: painéis fotovoltaicos, pequenas centrais hidrelétricas, cogeneradores e geradores de emergência (INEE. 2023). A geração centralizada possui o conceito de larga escala, se diferenciando das geradoras distribuídas justamente na capacidade de geração (AVELINO. 2020). Este tipo de geração pode ser caracterizado pelo local de produção que normalmente se encontra em locais distantes do centro consumidor, e por estarem conectadas diretamente no Sistema Interligado Nacional, elas possuem alta capacidade de geração e economia de escala (PORTAL SOLAR, 2023). A potência instalada é um fator que define e diferencia as distribuídas das centralizadas. De acordo com o Artigo 14 do Decreto-Lei n.º 5.163 de 2004: Art. 14

Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei no 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

- I - Hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e
- II - Termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004 (Decreto no 5.163/2004 - fls. 7)

E em 2012, foi criada a Resolução Normativa n.º 482 da Agência Nacional de Energia

Elétrica (ANEEL), que estabelece:

Denomina-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW). Já minigeração distribuída é aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 3 MW (podendo ser até 5 MW em situações específicas, nos termos dos incisos IX e XIII e do Parágrafo Único do art. 1º da Lei nº 14.300/2022). Ambas são conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Para se compreender a dimensão das geradoras é importante entender como a infraestrutura física tem papel central na gestão destes negócios. Uma pequena central hidrelétrica, por exemplo, tem tamanho e potência relativamente reduzidos, esses empreendimentos têm, entre 5 e 50 megawatts (MW) de potência e devem ter menos de 13 km² de área de reservatório (ABRAPCH. 2023). Já uma usina hidrelétrica de geração centralizada são aquelas com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 50.000 kW (ANEEL. 2023).

As diferenças em tamanho e potência dos modelos de geração não impactam no crescimento de ambos os modelos em paralelo. No Brasil, por exemplo, segundo informações do Ministério de Minas e Energia (MME, 2023), em 2023 foi estimado um crescimento em 10,3GW da oferta de energia gerada por usinas centralizadas, representando a maior capacidade instalada já registrada no país. Os 10,3GW serão gerados por 298 usinas, localizados em 18 estados diferentes, com destaque para Bahia, Rio Grande Norte e Minas Gerais. Além da expansão da geração centralizada a geração distribuída também possui perspectivas de crescimento relevante com os investimentos dos próprios consumidores e de empresas especializadas, a fonte solar fotovoltaica tem puxado o crescimento deste modelo, especialmente com as instalações nos telhados das casas (MME, 2023)

Devido as diferenças que os dois modelos de geração possuem, alguns autores têm utilizado os modelos como objeto de estudo. Segundo Stennikov et al (2022) a criação de um sistema inteligente e integrado de energia centralizada e descentralizada pode ser uma alternativa promissora para sistemas convencionais de energia, uma vez que o planejamento integrado de fontes renováveis dos modelos distribuídos e centralizados podem garantir um fornecimento mais eficiente para os consumidores.

No entanto, muitos estudos apresentam as diferenças entre os modelos e seus prós e contras em relação a algumas perspectivas, como por exemplo, economia, regulamentação e meio ambiente. De acordo com Martín-Martínez et al (2017), a implantação da geração distribuída é uma realidade para o fornecimento de energia elétrica e o debate sobre a substituição e/ou integração deste modelo no atual paradigma da geração centralizada está atualmente em vigor, isso porque a geração distribuída pode melhorar a resiliência do sistema energético e reduzir a dependência da rede disponível atual. No entanto, os mesmos autores

citam que alguns fatores podem explicar o motivo que leva o modelo de geração centralizada a ter sucesso nos dias atuais, como a economia de escala em instalações, geração de grande quantidade de energia, maior confiabilidade e unidades de geração em diversas regiões.

Em se tratando de meio ambiente, a Agência Nacional de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2023), analisou alguns impactos do modelo de geração centralizada, que podem ser sentidos em qualquer país que possua este modelo de geração. Alguns impactos estão diretamente ligados a geradoras centralizadas que utilizam combustíveis fósseis em sua operação, que emitem poluentes, como dióxido de carbono, de enxofre, óxidos de nitrogênio, mercúrio e demais partículas. No caso de geradoras centralizadas por fontes renováveis, os impactos observados estão diretamente ligados ao tamanho da infraestrutura e aos resíduos gerados em sua operação, manutenção e descomissionamento. Tais informações corroboram com a Fundação Ellen MacArthur (2023) que aponta que o setor de geração de energia renovável precisa ser gerido através de abordagens circulares, pois uma vez que a indústria de renováveis cresce, cresce também utilização de materiais finitos, que seguem o fluxo da economia linear.

Hall et al. (2022) analisaram os impactos ambientais causados na fase de descomissionamento de parques eólicos. Segundo eles a maioria dos impactos associados a fase de descomissionamento são similares àqueles que ocorrem durante o período de construção, porém os impactos aumentam na remoção de estruturas e o destino das estruturas levantando a questão de se os impactos são reversíveis ou não. No entanto, eles observaram que estes aspectos podem ser mitigados com uso apropriado de metodologias, como a economia circular. Por fim, eles sugeriram o design circular dos componentes, para possibilitar a reutilização e reciclagem de componentes passíveis de trocas.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta as fases que compõe o método de pesquisa adotado. O método de pesquisa deste trabalho adota os procedimentos qualitativos e quantitativos, uma vez que inicialmente se fez uma análise teórica da literatura e uma análise documental de relatórios de sustentabilidade corporativa ou relatórios ESG, publicados por empresas brasileiras no Índice de Desenvolvimento Sustentável da B3, o ISE B. Após a análise dos documentos e com dados levantados realizou-se uma análise bibliométrica com utilização do Microsoft Excel para analisar a distribuição das pesquisas por ano, periódicos, distribuição por países, palavras-chaves e práticas da EC. Posteriormente, utilizou-se o método multicritério Fuzzy Delphi para chegar a fatores que englobam as análises realizadas e construir o framework final do trabalho.

A primeira fase desta pesquisa se baseou na pesquisa teórica, integrando a EC, geração de energia renovável e relação entre os dois temas. Após a pesquisa teórica, as palavras-chaves foram definidas para restringir as análises da literatura estado-da-arte. Em seguida, foi realizado uma revisão de literatura sistemática através do método PRISMA - *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Metaanalyses*. O método PRISMA, tem como objetivo auxiliar pesquisadores e autores a melhorarem o relato de revisões sistemáticas e meta-análises, e se concentra nas formas pelas quais os autores podem garantir relatórios transparentes e completos, além ajudar a evitar vieses no decorrer da revisão (LIBERATI et al. 2009).

Outros trabalhos tais como o de Romero-Luis et al. (2021) que analisaram a maturidade da EC e a bioenergia a partir da educação e comunicação, Mesa et al (2022) que analisaram a ligação entre design de produto e sua durabilidade, e Alhawari et al (2020), que pesquisaram sobre as definições e os insights da EC na literatura também utilizaram o PRISMA como método para revisão de literatura e revisão sistemática de seus estudos. A Figura 3 descreve a metodologia utilizada para a busca e triagem da literatura.

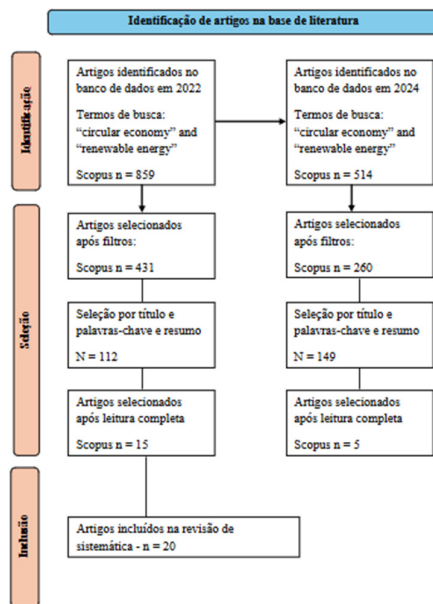


Figura 3. Fluxo PRISMA com as diferentes fases da revisão sistemática

3.1. Identificação dos artigos

A primeira busca utilizou “circular economy”, “energy system” e “renewable power generation” como palavras-chave de busca. Contudo, os resultados mostraram alguns tópicos não relacionados ao foco dessa pesquisa, uma vez que “energy system” aparece em diferentes contextos, como sistemas de resfriamento, bioeconomia urbana, modelos matemáticos, dentre outras áreas técnicas e tecnológicas que não estão relacionadas com a área de geração. Enquanto a palavras-chave “renewable power generation” também aparece em contextos e fontes diferentes, como biocombustíveis, tratamento de água, biomassa, entre outros. Portanto, após análise na revisão teórica para identificar os principais termos foi gerada uma busca refinada com foco em energia renovável e economia circular.

Na sequência, utilizando a metodologia PRISMA, empregou-se a primeira pesquisa na base da SCOPUS em outubro de 2022 considerando o período de 2018 a 2022, usando duas palavras-chaves: (i) “circular economy” e (ii) “renewable energy”, resultando em 859 artigos. A palavra-chave “circular economy” foi utilizada por representar o tema central do estudo, assim como foi utilizada por outros autores em estudos que relacionam a EC com outras disciplinas. A palavra-chave “renewable energy” foi escolhida por ser ampla no sentido de representar todos os temas que estão ligados com o campo de energia renovável, não se limitando apenas na geração em si, mas nas tecnologias, na cadeia produtiva e de valor, nos seus sistemas, nas questões climáticas, transição energética global, economia, eficiência,

implicações, benefícios (THELLUFSEN et al. 2020; OLABI et al. 2022; GIELEN et al. 2019; SHABAHZ et al. 2020; LEVENDA et al. 2021). Para atualizar a busca a segunda pesquisa seguiu os mesmos critérios e foi realizada em fevereiro de 2024, considerando artigos publicados no ano de 2023 que resultou em mais 514 artigos.

3.2. Seleção

A seleção dos artigos foi realizada através dos filtros adicionais disponíveis na base da SCOPUS: somente artigos em publicação no estágio final, publicados em journals e em língua inglesa foram selecionados, foram excluídos artigos de revisão, de congresso, resultando em 431 artigos na primeira busca (2022) e 260 artigos na segunda busca realizada nos artigos de 2023. A avaliação do título, palavras-chave e resumo possibilitou a triagem, resultando em 112 artigos na primeira busca e 149 artigos na segunda busca, que seguiram para a etapa de elegibilidade e inclusão.

Os artigos excluídos após leitura do título, palavras-chave e resumo foram aqueles em que não havia indicação de relação entre os temas da EC e energia renovável. A seleção foi realizada considerando os temas de estudo principais dos artigos, nomeados como tema de estudo 1 (principal) e tema de estudo 2. Os artigos excluídos tinham como tema de estudo 1 assuntos relacionados com química, como digestão anaeróbica, eletrodos de baterias, biochar, bio-cell, biometano, biomassa, biorrefinarias, reciclagem química, plasma. Também foram excluídos artigos com tema relacionados a agricultura, microalgas, materiais verdes, óleo, setor têxtil e plástico. Alguns artigos excluídos continham o tema de estudo em energia renovável, porém o tema de estudo 2 não tinha relação com a EC, como termodinâmica e recursos financeiros.

Para a leitura completa e final restaram 261 artigos, em que continham área de estudo em energia renovável, energia industrial, produção de energia, distribuição de energia, sistema de energia, energia sustentável, desperdício de energia e tipos de fonte como solar e eólica. Todos os estes com tema de estudo 2 em economia circular, modelos de negócios circulares, desenvolvimento sustentável e sistema circular.

3.3. Critérios de Elegibilidade

Nesta etapa do PRISMA foi então realizada a leitura completa dos 261 artigos elegíveis após a etapa de seleção e dos 11 relatórios de sustentabilidade corporativa para a identificação de práticas da EC passíveis de serem adotadas em geradoras centralizadas de energia renovável. A identificação das práticas nos artigos levou em consideração os aspectos relacionados diretamente ao contexto das geradoras centralizadas de energia renovável. Por apresentarem características diferentes de outros tipos de geração de energia, outras práticas podem não ter sido classificadas, por não terem correlação e aplicabilidade em geradoras centralizadas. A classificação das práticas identificadas foi realizada de acordo com os princípios fundamentais, os objetivos e os capacitores que estão nas definições e conceituações analisadas por Kirchher et al. (2023). Ao todo são 27 dimensões, que estão divididas nas categorias: princípios fundamentais (13), objetivos (8) e capacitores (6) elencados pelos autores, conforme apresentado no Quadro 1.

Categorias	Conceito
Princípios Fundamentais	
Estrutura 4R	Referência explícita à estrutura 4R/todas as dimensões 4R (reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar)
3R	Referência explícita à estrutura 3R/todas as dimensões 4R (reduzir, reutilizar, reciclar)
Reduzir	Discussão sobre recusar, repensar, redesenhar (incluindo prolongar a vida útil de produtos), minimização, digitalização e assim redução e/ou prevenção do uso de recursos e preservação do capital natural
Reutilizar	Discussão sobre reutilização (excluindo resíduos), fechando o ciclo, reparando e/ou renovação de recursos
Reciclar	Discussão sobre remanufatura, reciclagem, fechando o ciclo, e/ou reutilização de resíduos
Recuperar	Discussão em torno da incineração de materiais com recuperação de energia
Hierarquia de Resíduos	Indicação de ordem de classificação dos vários Rs, através de palavras como "primeiro", "alternativamente" ou "menos desejável"
Cadeia de Suprimentos e Valor	Mudanças requeridas na cadeia de suprimentos ou logística através de EC
Sistemas	Discussão sobre nível dos sistemas (micro, meso, macro)
Mudança de sistema ou paradigma	Descrição sobre a EC como um sistema de mudanças e paradigmas
Restauração/Regeneração	Referência a EC como restaurativa e/ou regenerativa
Recursos renováveis	Recursos renováveis como parte da EC

Ciclos biológicos	Referência a dados técnicos ou ciclos biológicos (nutrientes)
Objetivos	
Desenvolvimento Sustentável	Referência à sustentabilidade e desenvolvimento sustentável
Qualidade do Meio Ambiente	EC com o objetivo de manter, proteger e restaurar o ambiente e os recursos através de uma transição para uma economia de baixo carbono
Desenvolvimento Econômico	EC com o objetivo de reduzir custos, proteger e transformar a economia e os benefícios para os negócios e consumidores
Equidade Social	EC com o objetivo de proteger e transformar, fortalecer e desenvolver uma sociedade circular, sistemas socioeconômicos, saudável com criação de empregos
Desacoplar o crescimento econômico da extração de recursos	A discussão em torno da separação da economia crescimento, devido ao esgotamento de recursos/negativo consequências ambientais
Gerações Futuras	Futuro das gerações e perspectiva de longo prazo de acordo com a EC
Extensão do Ciclo de Vida	Discussão em torno das práticas de EC destinadas a mantendo o valor dos recursos/materiais e/ou prolongar a vida útil dos recursos / materiais para alcançar eficiência de recursos e evitar a escassez de recursos
Redução de desperdício	Discussão em torno de práticas/ações de EC reduzindo ou eliminando a quantidade de resíduos (produzido) de acordo com conceitos como desperdício zero
Capacitadores	
Consumidores	Menção ao consumo/consumidor perspectiva/consumidores ou quaisquer entidades responsáveis pelo aumento das demandas como impulsionadores da EC
Produtores/Distribuidores/Negócios/Indústrias (suprimentos)	Menção a produção/produtor ou perspectiva de distribuição/produtores e partes interessadas como negócios/firmas/indústrias/ organizações como impulsionadoras da EC
Política	Menção à política (elaboração)/política perspectiva/órgãos governamentais como condutores da EC
Ciência/Academia	Menção a ciência e as academias e escolas como direcionadores da EC
Modelos de Negócios	Menção aos modelos de negócios (incluindo tipo específico de modelo de negócios, como produto como serviço)
Tecnologias	Menção às tecnologias e inovações tecnológicas como impulsionadores da EC

Quadro 1 – Dimensões da EC e seus conceitos. Fonte: Adaptado pela autora de Kirchherr et al. (2023)

A Figura 4 representa a estrutura que articula os três grupos de categorias e que ilustra o relacionamento entre os atores, estratégias, ações e resultados. Este relacionamento direcionou o critério de elegibilidade e a formação do *framework* que será apresentado no capítulo de resultados.

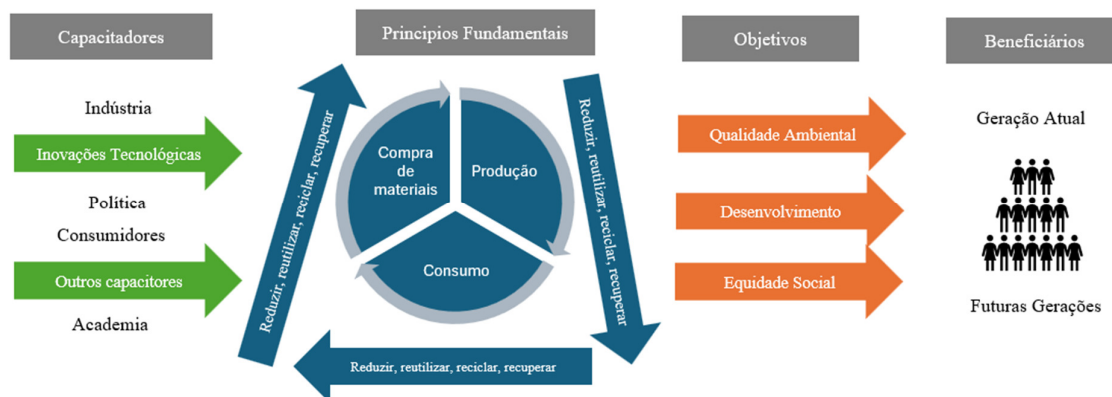


Figura 4. Representação gráfica da estrutura da EC. Fonte: Adaptado pela autora de Kirchherr et al. (2023)

A autora desta pesquisa detalhou cada dimensão e conceito com palavras que foram direcionadoras no momento da leitura dos artigos e dos relatórios, facilitando a identificação das práticas.

A classificação das práticas encontradas na literatura foi realizada manualmente na ferramenta Microsoft Excel em um quadro que consta as informações de qual a prática, qual a fonte aplicável (eólica, solar, hidrelétrica), país/região no qual prática foi empregada no artigo, qual tecnologia e ou setor a prática foi aplicada e autor.

Seguindo os critérios de elegibilidade foram identificadas na primeira busca 20 práticas dispostas em 15 artigos, e na segunda busca 8 práticas provenientes de 5 artigos, totalizando 28 práticas da literatura.

3.4. Critérios de Inclusão

Após a elegibilidade das 28 práticas da literatura foi realizada uma análise mais detalhada de cada prática. A interpretação e integração de práticas similares tanto em conteúdo quanto em objetivo foi realizada pela autora e pelo co-autor ambos com experiência em energia renovável e economia circular, mantendo as práticas que convergiam como pontos importantes para a EC e para geradora centralizadas.

O Quadro 2, mostra um exemplo de como o conjunto de práticas potenciais foi integrado e estruturado para o posterior envio do questionário aos respondentes na etapa quantitativa do estudo. As práticas são separadas por código, sendo “L” de literatura e “R” de relatórios e estão classificadas de acordo com a categoria da EC propostos por Kirchherr et al. (2023). A integração destas práticas resultou em uma única prática seguindo o mesmo objetivo, e que

também foi codificada de acordo com a categoria, no exemplo abaixo “R8” de categoria 4Rs.

Literatura		Relatórios	
Código	Prática	Código	Prática
L1	Aplicação de tecnologias de produção autônoma de energia e água para escritórios e operação	R11	Utilização de cisterna para reuso da água da chuva
		R18	Usina possui sistema de reuso de água, por isso não há descarte de água.
		R17	Sistema de reciclo em todas as unidades, permitindo a reutilização da água em estado líquido.
R8		Reutilização de água (sistemas de captação de água de chuva e de tratamento de água para reuso)	

Quadro 2 –Exemplo de integração das práticas. Fonte: Autora

3.5. Critérios de revisão dos Relatórios de Sustentabilidade Corporativa

Nesta etapa foi realizada a busca dos Relatórios de Sustentabilidade Corporativa na página oficial da B3. O ISE B3 é o resultado de uma carteira teórica de ativos, e tem o objetivo de ser o indicador do desempenho médio das cotações dos ativos de empresas selecionadas pelo seu reconhecido comprometimento com a sustentabilidade empresarial. O índice serve de apoio para os investidores na tomada de decisão de um investimento, e induz as empresas a adotarem as melhores práticas de sustentabilidade, uma vez que as práticas ESG contribuem para a perenidade dos negócios (B3, 2023).

A identificação dos relatórios foi realizada no site Índice de Sustentabilidade Corporativo ISE B3, no campo de empresas elegíveis de 2022 e que fazem parte da cadeia de valor da energia, como, geradoras de energia, transmissoras e distribuidoras que estavam listadas no último índice vigente de 2022/2023 (Figura 5).

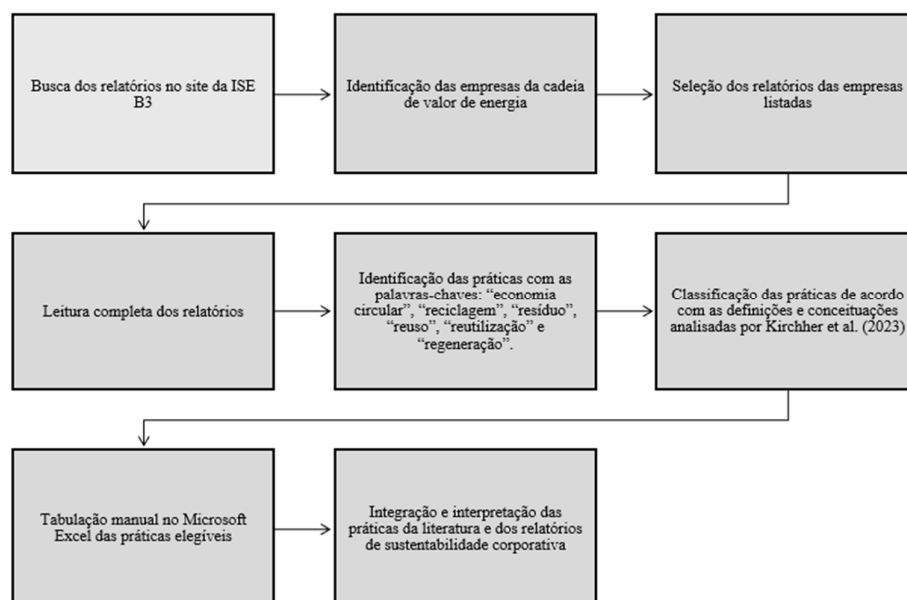


Figura 5. Critérios de revisão dos relatórios de sustentabilidade corporativa

A seleção dos relatórios foi realizada em outubro/2023, e foram selecionadas 12 empresas que fazem parte de diferentes posições na cadeia de valor da energia, as empresa foram identificadas pelas letras A (AES Brasil, 2022), B (Cemig, 2022), C (Copel, 2022), D (Cosan, 2022), E (CPFL Energia, 2022), F (ISA CEETP, 2022), G (Eletrobras, 2022), H (Eneva, 2022), I (Engie Brasil Energia, 2022) e J (Neoenergia, 2022), K (Raízen, 2022), e L (Vibra, 2022). No entanto, a empresa K (Raizen, 2022) faz parte do portfólio e é subsidiária da empresa D (Cosan, 2022) que controla as demais empresas do grupo e apresenta em seu relatório de sustentabilidade corporativo as ações, práticas e compromissos dedicados a sustentabilidade de todas as empresas controladas. Desta forma 11 relatórios foram identificados na etapa de seleção.

A identificação das práticas nos relatórios foi realizada através da leitura completa dos relatórios. As buscas foram realizadas através das palavras-chaves: “economia circular”, “reciclagem”, “resíduo”, “reuso”, “reutilização” e “regeneração” que fazem parte dos princípios fundamentais da EC apresentados por Kirchher et al. (2023). Além das palavras-chaves o contexto da prática precisava ser diretamente relacionado ao contexto das geradoras centralizadas de energia renovável. A classificação das práticas identificadas também foi realizada de acordo com os princípios fundamentais, os objetivos e os capacitores que estão nas definições e conceituações analisadas por Kirchher et al. (2023), conforme apresentado no Item 3.3. As práticas foram então tabuladas manualmente na ferramenta Microsoft Excel em um

quadro que consta as informações de qual a prática, qual a fonte aplicável (eólica, solar, hidrelétrica), país/região no qual prática foi empregada no artigo, qual tecnologia e ou setor a prática foi aplicada e autor. Nos 11 relatórios de sustentabilidade corporativa foram identificadas 27 da EC.

Após a elegibilidade das 28 práticas da literatura e das 27 práticas dos relatórios de sustentabilidade, realizou-se a interpretação e integração de práticas similares tanto em conteúdo quanto em objetivo. Esta etapa foi realizada pela autora e pelo co-autor ambos com experiência em energia renovável e economia circular, mantendo as práticas que convergiam como pontos importantes para a EC e para geradora centralizadas.

3.6. Metodologia Fuzzy Delphi

Após a análise da literatura e identificação das práticas o método Fuzzy Delphi foi selecionado para priorizar, sob a perspectiva de especialistas, as práticas circulares identificadas na literatura e na análise documental. Esse método tem sido aplicado por pesquisadores na condução de pesquisas *survey*, por ajudar a reduzir a incerteza de julgamentos de especialistas e garantir a qualidade de análises de pesquisas desse tipo (BATTISSACCO, 2021).

O Fuzzy Delphi deriva do método de tomada de decisão em grupo Delphi, e o uso da teoria dos conjuntos *fuzzy* (DALKEY E HELMER, 1963; ZADEH, 1965). O método permite a gestão do conhecimento fornecido por especialistas através de um processo sistemático; sua aplicação com partes interessadas no processo permite que as respostas sejam julgadas e medidas de maneira precisa (GALARZA-MARÍA et al. 2024). Além disso, em comparação com o método Delphi tradicional, o Fuzzy Delphi reduz tanto o número de entrevistas quanto o tempo necessário para obter o conhecimento dos especialistas sobre o tema em questão (BUI et al., 2020). A utilização da teoria dos números *fuzzy* é vantajosa para lidar com os julgamentos vagos e imprecisos dos especialistas, facilitando a avaliação de situações-problema que envolvem respostas subjetivas (KAHRAMAN, 2028; LIU; ECKERT; EARL, 2020).

Quanto à aplicabilidade do método Fuzzy Delphi para a proposição desta pesquisa, pode-se perceber que ele já foi empregado em estudos relacionados a EC. Rejeb et al (2022) utilizaram o método para seleção de barreiras para adoção de blockchain na economia circular; Nascimento et al (2023) utilizaram o método para analisar a inter-relação entre economia circular e indústria 4.0.

Para a execução do método, foram realizadas algumas (BOUZON, 2016; BATTISSACCO, 2021; GALARZA-MARÍA, 2023) conforme descrito a seguir:

Etapa 1: Identificação das principais práticas da EC extraídas da literatura. Nesta etapa as principais práticas da EC passíveis de aplicação em geradoras centralizadas de energia renovável foram identificadas nos artigos e nos relatórios de sustentabilidade corporativa, conforme detalhado no capítulo 3.

Etapa 2: Validação de Questionário. Um questionário piloto, baseado nas práticas incluídas da fase anterior, foi elaborado e submetido a validação de conteúdo por dois especialistas. Os dois especialistas possuem experiência de mais de 10 anos nas áreas de energia renovável, sustentabilidade e meio ambiente. Através de envio por e-mail, foi solicitado aos especialistas que validassem o conteúdo e redação do questionário proposto e as perguntas abertas. Um dos especialistas validou o questionário sem proposição de mudanças; o outro propôs a inclusão mais clara sobre o problema de pesquisa, com objetivo de estimular os respondentes a pensarem nas questões como uma forma de melhorar o processo do problema apresentado.

Etapa 3: Aplicação do Questionário. Depois de identificar as principais práticas da EC, partiu-se para obter a validação do questionário. Um número de 14 especialistas (decisores) da indústria e acadêmicos foram convidados a determinar a importância das práticas através de um questionário utilizando expressões linguísticas. No questionário foram incluídas questões abertas após cada categoria, com objetivo de identificar novas práticas através da experiência prática dos especialistas, além de entender se as práticas identificadas na literatura e nos relatórios tem relação com a experiência de cada um deles.

Para a obtenção de resultados consistentes a escolha do grupo de especialista respondentes deve ser criteriosa, assim como o número de pessoas que irão responder o questionário (BATTISSACCO, 2023). A seguir estão os dados do grupo de especialistas que permitem caracterizar a amostra de profissionais selecionados para responderem o questionário Fuzzy Delphi.

Um aspecto importante considerado na escolha dos especialistas foi a experiência nas áreas relacionadas de geração de energia renovável, sustentabilidade e meio ambiente. A tabela 1 apresenta o cargo e o tempo de experiência de cada especialista. Nota-se que 86% dos respondentes possuem mais de 10 anos de experiência nas áreas relacionadas ao tema desta pesquisa.

Cargo	Tempo de Experiência
Analista de Meio Ambiente	15 anos
Analista de Suprimentos Renováveis	11 anos
Analista de Suprimentos Renováveis	11 anos
Analista de Suprimentos Renováveis	11 anos
Analista de Sustentabilidade	6 anos
Consultora de Sustentabilidade	25 anos
Coordenador de Suprimentos Renováveis	6 anos
Coordenadora de Meio Ambiente	13 anos
Diretor Ambiental	20 anos
Diretor de Operações Renováveis	20 anos
Engenheiro Ambiental	24 anos
Engenheiro Ambiental	16 anos
Gerente Ambiental	20 anos
Gerente de ESG	15 anos

Tabela 1 – Formação e Tempo de experiência dos especialistas

Na próxima seção os serão apresentados os resultados Fuzzy Delphi a partir das respostas do questionário. Para este trabalho foram utilizados os números fuzzy triangulares que na escala Likert são comumente usados de cinco termos linguísticos descritas na Tabela 2.

Variável Linguística	TFN		
	<i>Li</i>	<i>Mi</i>	<i>Ui</i>
Muito sem importância	0	0,1	0,3
Sem importância	0,1	0,3	0,5
Moderadamente importante	0,3	0,5	0,7
Importante	0,5	0,7	0,9
Muito importante	0,7	0,9	1

Tabela 2 – Escala Likert de cinco termos linguísticos para números fuzzy triangulares. Fonte: Battissacco (2021)

Etapa 4: Organização e agregação dos dados e opiniões coletados a partir do questionário respondido pelos especialistas de cada critério i , em um índice de $Oi = (Li, Mi, Ui)$. A forma mais simples de agregação é pela média aritmética:

$$O_i = \left(\frac{\sum lik}{k}, \frac{\sum mik}{k}, \frac{\sum uik}{k} \right)$$

Etapa 5: Após a agregação das avaliações dos especialistas os números fuzzy devem ser desfuzzificados para números crisp (Z_i), para serem interpretados. Na literatura são sugeridos alguns métodos, como Habibi, Jahantigh e Sarafrazi (2015):

$$Z_i = \max (X_m^1, X_m^2, X_m^3)$$

Com os valores X_m^1, X_m^2, X_m^3 sendo:

$$X_m^1 = \frac{Li + Mi + Ui}{3}$$

$$X_m^2 = \frac{Li + Mi + Ui}{4}$$

$$X_m^3 = \frac{Li + Mi + Ui}{6}$$

Onde Li é o mínimo de avaliações dos especialistas, Mi indica a média de todas as avaliações dos especialistas e Ui indica o máximo das avaliações dos especialistas.

Etapa 6: Por fim, deve-se analisar os critérios de seleção por meio de um limite α . A literatura relata algumas abordagens para a definição do limite α . Bui et al. (2020), define o limite como a média dos Z_i , onde k representa o conjunto de especialistas, sendo:

$$\alpha = \sum_{k=1}^k Z_i/k$$

Manakandan et al. (2017) propõem uma metodologia para aceitação de critérios baseada em três requisitos. O primeiro requisito estabelece que a distância média d_{med} deve ser menor ou igual a 0,2, sendo a distância d calculada por:

$$d_{ik}(\bar{O}, \bar{R}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(\bar{l}_i - l_{ik})^2 + (\bar{m}_i - m_{ik})^2 + (\bar{u}_i - u_{ik})^2]}$$

O valor de d é obtido para cada critério e para cada avaliação individual dos especialistas. Em seguida, calcula-se a média das distâncias para cada critério, conforme a equação:

$$d_{imed} = \sum d_{ik}(\bar{O}, \bar{R}) / n^{\circ} \text{ de especialistas}$$

O segundo requisito considera o índice de consenso dos especialistas, avaliado pela proporção de distâncias que satisfazem o limite estabelecido, conforme apresentado a seguir:

$$Consenso_i(\%) = \frac{\text{número de } d_{ik}(\bar{O}, \bar{R}) \leq 0.2}{\text{número de especialistas}} \times 100$$

Por fim, realiza-se um ranking dos valores crisp obtidos após o processo de desfuzzificação. Para que um critério seja aceito, os três requisitos devem ser simultaneamente atendidos: i) a distância média d_{med} deve ser menor ou igual a 0.2; ii) o índice de consenso deve satisfazer o limite estipulado (nesta pesquisa, o índice de consenso estipulado é de 0.75, ou seja, o critério deve ter um índice de consenso maior ou igual a 0.75); iii) valores crisp devem ser devidamente ranqueados para análise, considerando aceitos aqueles com valores maiores ou iguais a 0.7.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados da Análise Bibliométrica dos artigos publicados sobre EC e ER

Esta seção contém a análise bibliométrica feita a partir dos dados dos artigos obtidos no banco de dados da SCOPUS. Esta análise visa ampliar o conhecimento sobre os artigos publicados envolvendo os dois temas (economia circular e energia renovável).

4.1.1. Publicações por ano

Inicialmente, o Gráfico 1 mostra a distribuição de publicação dos 20 artigos por ano desde 2018. É possível verificar uma crescente considerável se comparado aos outros anos de artigos publicados com práticas em 2021. Este resultado em 2021, pode estar relacionado com o aumento considerável de geração de energia elétrica por fontes renováveis no mundo, conforme dados apresentados na Figura 6 pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2023), que eleva a preocupação da integração da geração com outros temas e disciplinas, assim como a EC.

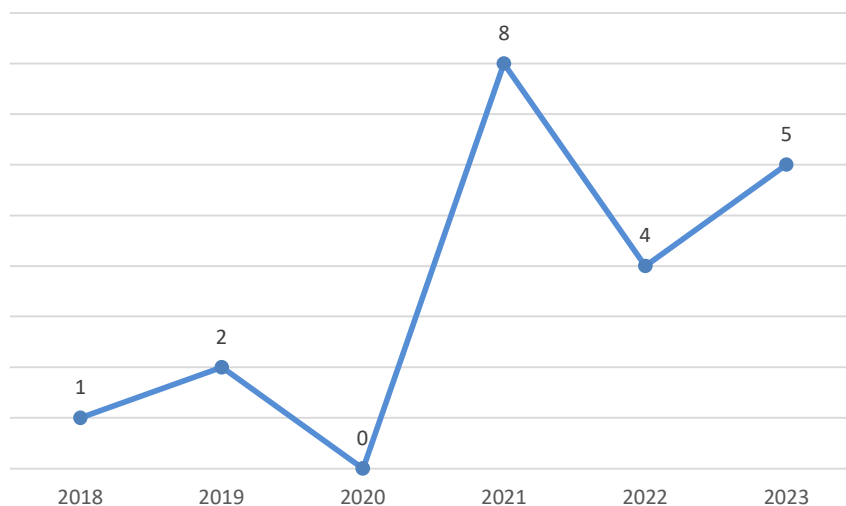


Gráfico 1 – Quantidade de artigos por ano. Fonte: Elaborado pelo autor.

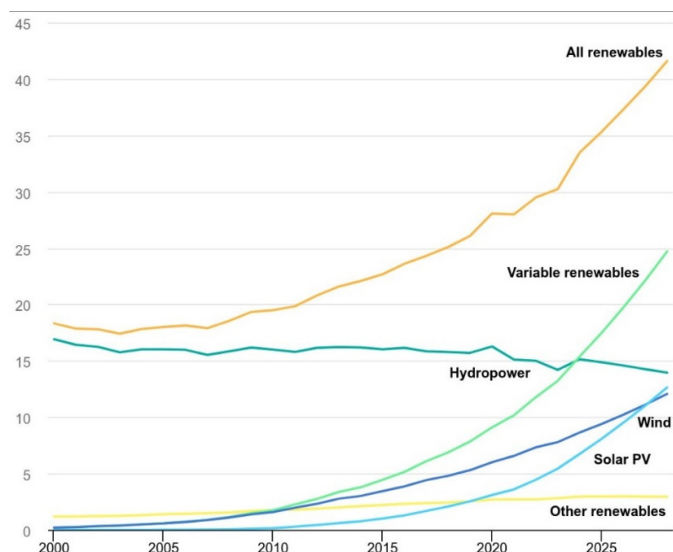


Figura 6 – Participação na geração de eletricidade renovável por tecnologia, 2000-2024.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2. Principais periódicos

Os 20 artigos da amostra final até 2023 foram publicados em 12 revistas, com o predomínio de publicações no Journal of Cleaner Production, com 28% da amostra. Conforme descrito na Tabela 3, os demais periódicos apareçam em quantidade próxima. A revista Sustainable Production and Consumption lançou em 2023 uma edição especial com o tema sobre Economia Circular como Motor para Alcançar Produção e Consumo Sustentáveis; 4 das 28 práticas foram encontradas em artigos publicados nesta edição.

Journal	Quantidade
Journal of Cleaner Production	9
Renewable Energy	3
Sustainable Production And Consumption	3
Renewable Energy Focus	2
Renewable and Sustainable Energy Reviews	2
Energy Report	2
Corporate Social Responsibility and Environmental Management	2
Sustainability	1
Energy Police	1
Waste Management	1
AIMS Energy	1
Journal Of Law and Sustainable Development	1

Tabela 3 – Quantidade de periódicos. Fonte: Elaborado pelo autor

1.1.1. Identificação dos autores

A análise de autores forneceu dados que revelam uma não dominância de autores que estudaram geração de energia renovável e modelo circular. O Quadro 3 contempla os 20 artigos em ordem cronológica, com os respectivos títulos. Quanto à fonte ou área de negócio, a fonte de energia eólica ficou em destaque, junto com a energia renovável que engloba todas os tipos de fontes geradoras renováveis. Um fator observado é o não aparecimento de estudos que relacionam o tema de EC com a fonte de geração hidráulica, que segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2023) representa 15,1% da geração de energia mundial.

Autor	Título
Kim e Park. 2018	PV Waste Management at the Crossroads of Circular Economy and Energy Transition: The Case of South Korea
Salim et al. 2019	Drivers, barriers and enablers to end-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: A systematic literature review
Proskuryakova e Ermolenko. 2019	The future of Russia's renewable energy sector: Trends, scenarios and policies
Yildizbasi. 2021	Blockchain and renewable energy: Integration challenges in circular economy era
Wralsen et al. 2021	Circular business models for lithium-ion batteries - Stakeholders, barriers, and drivers
Sotiropoulou e Vavatsikos. 2021	Onshore wind farms GIS-Assisted suitability analysis using PROMETHEE II
Okafor et al. 2021	Situating coupled circular economy and energy transition in an emerging economy
Nizetic et al. 2021	Smart technologies for promotion of energy efficiency, utilization of sustainable resources and waste management
Mutezo e Mulopo. 2021	A review of Africa's transition from fossil fuels to renewable energy using circular economy principles

Mulvaney et al. 2021	Progress towards a circular economy in materials to decarbonize electricity and mobility
Basile et al. 2021	The usefulness of sustainable business models: Analysis from oil and gas industry
Rabaia et al. 2022	Recent progress towards photovoltaics' circular economy
Nag et al. 2022	Evaluating value requirements for Industrial Product-Service System in circular economy for wind power-based renewable energy firms
Mello et al. 2022	Evaluation of the environmental impacts related to the wind farms end-of-life
Eligüzel and Özceylan. 2022	A bibliometric, social network and clustering analysis for a comprehensive review on end-of-life wind turbines
Vilas, L. H. L 2023	Brazil. Impacts of Digital Technology on Sustainability in automotive recycling sector
Mendonza and Pigosso. 2023	How ready is the wind energy industry for the circular economy?
Khalid et al. 2023	Recycling of wind turbine blades through modern recycling technologies: A road to zero waste
Diez-Canamero and Mendoza. 2023	Circular economy performance and carbon footprint of wind turbine blade waste management alternatives
Askin et al. 2023	Recycling photovoltaic modules within a circular economy approach and a snapshot for Türkiye

Quadro 3 – Artigos Identificados. Fonte: Elaborado pela autora

4.1.4. Distribuição por países e regiões

Analisando-se a distribuição das publicações por país e considerando os continentes, percebe-se uma predominância de artigos com pesquisas realizadas no continente Europeu. Das 28 práticas da amostra final, 8 são de países deste continente. É possível verificar pelo Gráfico 2 que houve pouca concentração na África, Oceania e América do Norte.

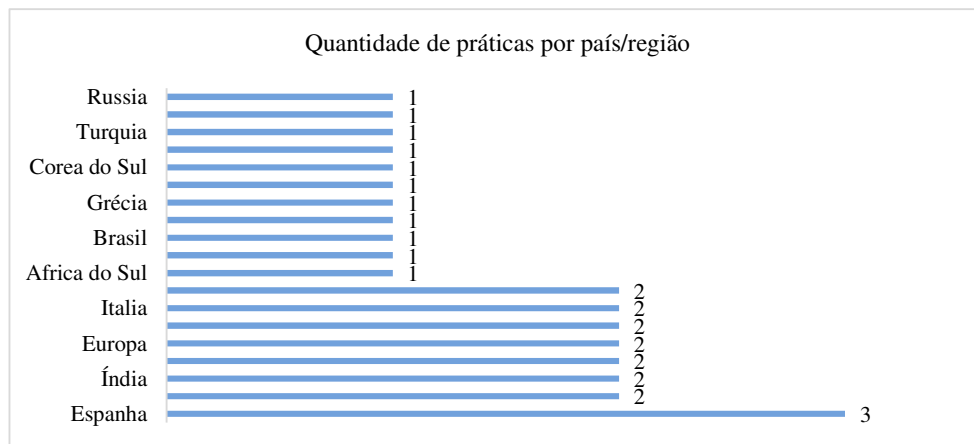


Gráfico 2 – Quantidade de artigos por região. Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando apenas a distribuição geográfica dos artigos, nota-se que não houve uma concentração de países; mais de 50% dos artigos estão concentrados no continente europeu, divididos em Espanha (3), Turquia (3), Grécia, Portugal, e todos os demais com um artigo por país.

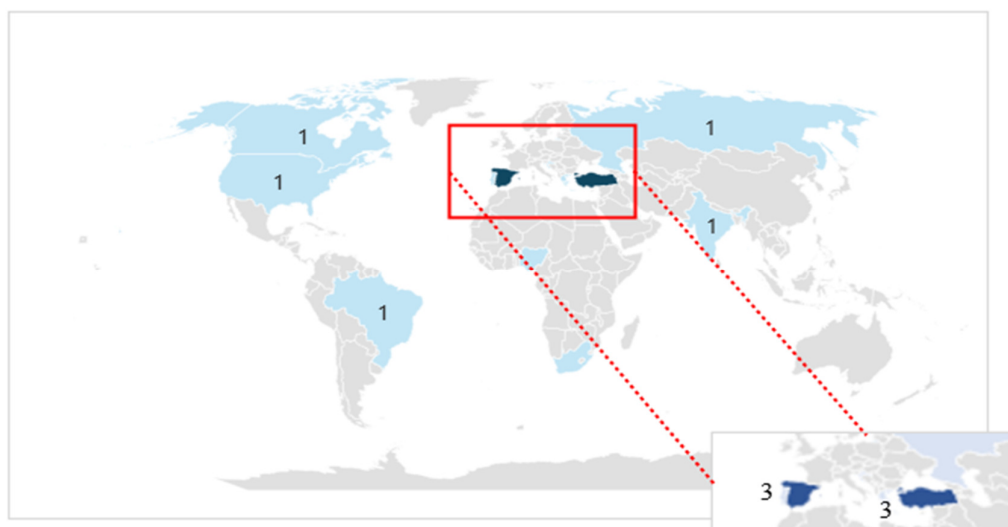


Figura 7 – Quantidade de artigos por região. Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.5. Palavras-Chave

A palavra mais utilizada foi a Economia Circular, por ser o tema central da pesquisa junto com a energia renovável, que apareceu representada pelo tipo de fonte, solar e eólica. Um aspecto importante a se observar é a presença do princípio de reciclagem que foi apresentada como “recycling”, “recyclability” e “recyclable materials”, e ficou na terceira posição de palavras-chaves mais utilizadas. Além das palavras listadas na tabela abaixo, foram observadas palavras como: desenvolvimento econômico, modelos de negócios circulares, reutilização, tecnologia inteligente, capital natural, rede de empregabilidade, e outras relacionadas com o método de trabalho, como Fuzzy AHP e PROMETHEE II.

Palavras-Chave	Qualidade
Circular economy	16
Renewable energy	6
Recycling	5
Sustainability	5
Waste management	3
End-of-life	2
Energy transition	2
Extractive industries	2
Green design	2
Life Cycle Assessment	2
Wind farms	2
Zero waste	2
Biomass Energy	2

Tabela 4 – Palavras-Chave. Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.6. Categorias das práticas do modelo circular

As práticas foram categorizadas através dos princípios fundamentais, objetivos e capacitadores circulares propostos por Kirchher et al. (2023) em pesquisa realizada para identificar e conceituar a economia circular através da análise de 221 definições. Conforme apresenta a Tabela 4, houve mais práticas no princípio dos 4Rs. Esta categoria de acordo Kirchher et al (2023) faz referência explícita a todas as dimensões 4R, que são: reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar. Ao codificar os dados utilizando os ciclos tecnológicos e biológicos da EC, os autores identificaram que no ciclo tecnológico os produtos, que são os produtos relacionados ao tema de energia renovável, são mais reparados, reutilizados,

reciclados e remanufaturados; enquanto no ciclo biológico os materiais são devolvidos a terra por meio de processos de compostagem e digestão anaeróbica.

Categoria	Quantidade
4Rs	9
Tecnologias	9
Cadeia de Suprimentos e Valor	7
Política; Ciência e Academia	3
Total Geral	28

Tabela 5 – Quantidade de Práticas do modelo circular por categoria. Fonte: Elaborado pela autora

As nove práticas relacionadas no princípio Tecnologia demonstram um possível crescimento de estudos integrando os temas de EC, geração de energia, e suas tecnologias. Kirchher et al (2023) fizeram menção às tecnologias e inovações tecnológicas como capacitadoras e impulsionadoras da EC.

Assim como a categoria de tecnologias, a de Cadeia de Suprimentos e Valor apareceu em práticas com exemplos de aplicações. Kirchher et al (2023) identificaram em suas discussões com profissionais que o conceito de reengenharia de Cadeia de Suprimentos e Valor foi citado sugerindo que a cadeia de suprimentos pode ser cada vez mais fundamental na implementação da EC.

Por último, práticas da categoria Política; Ciência e Academia apareceram em menor quantidade. As práticas deste grupo são citadas pelos autores como um dos capacitores da EC, com a política relacionada à perspectiva de órgãos governamentais e iniciativas políticas como o Plano de Ação da Economia Circular 2020 da comissão Europeia. A ciência e academia como condutores e atores centrais na transição para o modelo circular.

4.1.7. Práticas do modelo circular

Considerando os objetivos dessa pesquisa, as práticas identificadas nos artigos foram classificadas considerando o código da prática encontrada por ordem, qual a categoria, a fonte de geração aplicável, e a referência bibliográfica. O Quadro 4 – Práticas Circulares para o Setor de Energia Renovável apresenta as 28 práticas que foram observadas na revisão de literatura.

No.	Categorias	Prática	Autor
L1	Cadeia de Suprimentos e Valor	Criação de rede para gerenciamento adequado de resíduos fotovoltaicos, incluindo coleta e armazenamento	Kim e Park. 2018
L2	Cadeia de Suprimentos e Valor	Criação uma rede de informação entre os produtores e os recicladores, com gerenciamento, recuperação e reciclagem dos principais resíduos dos painéis solares e baterias	Salim et al. 2019
L3	Tecnologias	Novas tecnologias de monitoramento do vento (medição do vento), para fornecer dados mais precisos no projeto de construção	Proskuryakova e Ermolenko. 2019
L4	Tecnologias	Automação de sistemas de ar e aquecimento em prédios (escritórios, usinas)	Nizetic et al. 2021
L5	Tecnologias	Utilização de robôs autônomos de limpeza de painéis solares	Nizetic et al. 2021
L6	Tecnologias	Utilização de tecnologias, big data, Iot, para antecipação de manutenções, necessidades de materiais para evitar desperdícios.	Mutezo e Mulopo. 2021
L7	Tecnologias	Utilização tecnologia blockchain para rastrear falhas e indicadores de ciclo de vida equipamentos utilizados na construção de parques eólicos e solares	Yildizbasi. 2021
L8	Tecnologias	Utilização ferramentas tecnológicas para o planejamento da localização de terras para construção de usinas eólicas, para mitigar riscos a biodiversidade	Sotiropoulou e Vavatsikos. 2021
L9	Tecnologias	Aplicação de tecnologias de produção autônoma de energia e para escritórios e operação	Wralsen et al. 2021
L10	4Rs	Aumentar a quantidade reciclada de pás e equipamentos relacionados a pás eólicas, para melhorar o mercado de recuperação de materiais	Mulvaney et al. 2021
L11	Política; Ciência e Academia	Criação de parcerias estratégicas com os principais stakeholders regionais e municipais para operacionalizar o descomissionamento de usinas	Basile et al. 2021
L12	Política; Ciência e Academia	Criação parcerias estratégicas com universidades e centros de pesquisa, com objetivo de estudar e criar alternativas circulares para a etapa de descomissionamento de usinas	Basile et al. 2021

L13	Cadeia de Suprimentos e Valor	Formalizar em contrato, com os fornecedores de painéis fotovoltaicos, que o produtor financie e/ou participe e auxilie nos custos de recuperação e reciclagem de painéis fotovoltaicos	Okafor et al. 2021
L14	4Rs	Remodelação e substituição de alguns componentes dos aerogeradores, para preservar a torre, fundação e cabos	Mello et al. 2022
L15	4Rs	Repotenciação, substituição das turbinas antigas por novas com as mesmas características, possibilitando a extensão do tempo de utilização de 25 para 40 ou 50 anos.	Mello et al. 2022
L16	Cadeia de Suprimentos e Valor	Utilizar recicladores formais, com práticas e técnicas sustentáveis	Rabaia et al. 2022
L17	4Rs	Estudar opções de reciclagem de componentes de forma separada, como geradores, rotores e torres, que fornecem boas pré-condições para uma alta taxa de reciclagem.	Eligüzel and Ozceylan. 2022
L18	Cadeia de Suprimentos e Valor	Analisar fornecedores e métodos de reciclagem de lâminas WT como: reforma, reutilização de peças maiores, reciclagem mecânica e reciclagem térmica e/ou química.	Eligüzel and Ozceylan. 2022
L19	Cadeia de Suprimentos e Valor	Analisar a inclusão de cláusulas contratuais com os fornecedores de peças principais, como turbinas, pás eólicas e painéis solares a garantia para peças ou subconjuntos de turbinas reconhecidas	Nag et al. 2022
L20	Cadeia de Suprimentos e Valor	Analisar a inclusão de cláusulas contratuais com os fornecedores de turbinas eólicas, pois existem muitas partes de turbinas eólicas que são melhores recicladas do que reformadas para remanufatura e design para reciclagem.	Nag et al. 2022
L21	4Rs	Realizar a reciclagem mecânica dos resíduos das turbinas e pás eólicas, convertendo em tamanhos ou formas diferentes através de técnicas de corte e trituração.	Khalid et al. 2023
L22	4Rs	Realizar a reciclagem química dos resíduos das turbinas e pás eólicas, envolvendo e decomposição química das matrizes de polímero para recuperar fibras curtas e outros produtos degradados.	Khalid et al. 2023
L23	Tecnologias	Utilizar ferramentas tecnológicas (sistemas, apps) para o monitoramento de resíduos. A tecnologia digital pode ser usada para monitorar a quantidade e qualidade dos resíduos gerados durante o processo de descomissionamento, classificação dos resíduos sólidos e destinação ou disposição final ambientalmente	Vilas, L. H. L 2023

L24	Política; Ciência e Academia	Criar parcerias com instituições acadêmicas, centros de inovação e produtores de painéis fotovoltaicos para criar e estabelecer locais pilotos e infraestruturas conjuntas que forneçam tecnologias e técnicas eficientes para a reciclagem de painéis fotovoltaicos	Askin et al. 2023
L25	4Rs	Procurar e ou criar um ecossistema onde as lâminas das pás eólicas podem ser reaproveitadas como um todo ou segmentadas em peças para o uso em aplicações secundárias	Diez-Canamero and Mendoza. 2023
L26	4Rs	Analisar ativos antigos (por exemplo, todo o WT ou um componente específico) que estiverem em boas condições funcionais, podem ser reutilizados no mesmo parque eólico ou num local diferente, o que é facilitado pelo descomissionamento e pelas empresas de comércio de componentes.	Mendoza and Pigosso. 2023
L27	Tecnologias	Solicitar ou desenvolver com os fornecedores passaportes digitais de produtos, que permite criar transparência e desbloquear o desenvolvimento de oportunidades de EC através da partilha de informações sobre produtos em toda a cadeia de valor, e acesso a avaliações do ciclo de vida e declarações ambientais de produtos	Mendoza and Pigosso. 2023
L28	4Rs	Estudar soluções para implementar o hibridismo na geração de energia, como por exemplo, produzir energia eólica e solar no mesmo espaço, estando em conformidade com o princípio de redução da EC.	Mendoza and Pigosso. 2023

Quadro 4 –Práticas do modelo circular por categoria da literatura. Fonte: Elaborado pela autora

É possível observar as fontes eólica e solar com mais práticas aplicáveis, uma vez que ambas as fontes estão em constante crescimento no mundo (EPE, 2023). Esse resultado está alinhado com o aumento de estudos sobre os materiais utilizados na produção e operação dos parques de geração e a utilização do modelo circular.

As práticas na categoria dos princípios dos 4Rs (reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar) aparecem com frequência nos estudos. É possível verificar a relação das palavras – chaves com as palavras do princípio, como por exemplo, as práticas L10, L14, L15, que trazem os termos “quantidade reciclada”, “remodelação”, “repotenciação”, “reaproveitamento” “opções de reciclagem”. A prática L28, foi classificada como princípio 4Rs, porém sua descrição não contém uma palavra que ligue diretamente ao princípio, no entanto seu objetivo se relaciona diretamente com o princípio dos 4Rs. Esta prática trata da utilização do sistema de hibridismo na geração de energia renovável, com a utilização de energia eólica e solar no mesmo espaço, em conformidade com o princípio de redução, neste caso de terra e matérias-primas.

As práticas relacionadas à categoria de Política; Ciência e Academia, apresentam um aspecto de parcerias entre stakeholders em direção à EC, como por exemplo, as práticas L12 e L25, que citam “criar parcerias” como termo principal. Assim como na categoria de Política; Ciência e Academia, a categoria de Cadeia de Suprimentos e Valor também apresenta práticas relacionadas a parcerias, porém neste caso mais direcionadas a fornecedores e contratos como por exemplo, as práticas L18, L19 e L20 que citam “criação de cláusulas contratuais” e “análise de fornecedores”.

As práticas da categoria de tecnologias, apresentaram aplicação de ferramentas e utilização de dados como abordagens para implementação da EC. As práticas L6, L7 e L8, descrevem a utilização de sistemas, rede de conectividades e dados como principais ferramentas tecnológicas, no entanto também foram encontradas práticas com tecnologias que não são somente digitais. As práticas L5 e L9 trazem respectivamente a utilização de tecnologia para robôs de limpeza de painéis solares e para a produção de energia, mostrando um aspecto mais abrangente da utilização da tecnologia para implementação de práticas da EC.

4.2. Resultados da pesquisa nos relatórios de sustentabilidade corporativa

Considerando os objetivos desta pesquisa, foram analisados também relatórios de sustentabilidade de 12 empresas do mercado de energia brasileiro. A seleção foi realizada na base das empresas listadas no ISE B3 do ano de 2022, do setor de energia. As empresas em que consultamos os relatórios de sustentabilidade foram identificadas pelas letras A (AES Brasil, 2022), B (Cemig, 2022), C (Copel, 2022), D (Cosan, 2022), E (CPFL Energia, 2022), F (ISA CEETP, 2022), G (Eletrobras, 2022), H (Eneva, 2022), I (Engie Brasil Energia, 2022) e J (Neoenergia, 2022), K (Vibra, 2022). Não foram consideradas as empresas fornecedoras de materiais, como pás eólicas e/ou geradoras e transformadores. Foram consideradas apenas empresas do setor energético de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. O Quadro 5 apresenta o conjunto de empresas analisadas nessa etapa.

Empresa	Ramo	Posição da cadeia de valor
A	Energia	Geração
B	Energia	Distribuição e Geração
C	Energia	Distribuição e Geração
D	Energia	Geração
E	Energia	Distribuição e Geração
F	Energia	Transmissão
G	Energia	Distribuição e Geração
H	Energia	Geração
I	Energia	Distribuição e Geração
J	Energia	Distribuição
K	Energia	Geração

Quadro 5 – Empresas por cadeia de valor. Fonte: Criada pelo autor.

Na primeira análise foi realizada busca nos relatórios pelas principais palavras relacionadas ao modelo circular. A Tabela 6 demonstra a divisão por empresa e o total de cada palavra citada, a contagem das palavras foi feita diretamente no texto no momento da leitura dos relatórios. É possível verificar que a palavra “Economia Circular” aparece em 8 dos 10 relatórios, no entanto, nos relatórios em que foi citada, apareceu em menor quantidade quando se comparado com as palavras “Reciclagem” e “Resíduo”, o que pode indicar que as empresas estão mais direcionadas às ações tradicionais de preservação ambiental e ESG em geral, do que alinhadas ao conceito e práticas da EC como um todo.

Empresa	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	TOTAL
Palavra-Chave												
Economia Circular	0	2	0	4	2	1	2	6	10	2	0	29
Reciclagem	8	7	7	11	7	0	21	9	10	4	0	84
Resíduo	20	40	0	33	0	6	3	6	0	0	0	108
Reuso	1	0	5	2	0	0	0	0	0	2	0	10
Reutilização	0	5	0	0	2	0	4	0	3	4	0	18
Regeneração	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabela 6 – Relação e quantidade palavras nos relatórios de sustentabilidade. Fonte: Elaborado pela autora.

A análise das práticas também foi realizada utilizando-se como base os princípios fundamentais, objetivos e capacitadores circulares propostos por Kirchher et al. (2023). Ao todo foram identificadas 27 práticas nos relatórios, e tal como na quantidade de palavras, as práticas do princípio dos 4Rs foram as mais observadas; que pode estar relacionado com o conhecimento sobre as possibilidades de aplicação da EC pelo setor de geração centralizada de energia, aparentando ainda ser mais limitado a práticas de reciclagem, por exemplo.

Categoria	Quantidade
4Rs	23
Cadeia de Suprimentos e Valor	2
Tecnologias	2
Total Geral	27

Tabela 7 – Práticas do modelo circular nos relatórios de sustentabilidade. Fonte: Elaborado pela autora.

Essas práticas identificadas foram dispostas no Quadro 6, e assim como as práticas identificadas na literatura estas estão separadas por informações, como o código da empresa e a categoria da prática,

No.	Categoria	Prática	Empresa
R1	4Rs	Ações de reciclagem, reuso e logística reversa para os resíduos gerados nas atividades de todas as unidades.	A
R2	Cadeia de Suprimentos e Valor	Trabalho em parceria com cooperativas locais que realizam a reciclagem de resíduos não perigosos, como papel, plástico, madeira e metais.	A
R3		Instalação de cercas elétricas em propriedades rurais com de resíduos formados por placas solares que perderam eficiência de geração. O projeto reaproveita essas placas sob a forma de cercas elétricas.	A
R4	4Rs	Recuperação de resíduos e reciclagem	A
R5	4Rs	Gerenciamento de resíduos em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Sendo assim, suas unidades seguem o processo de identificar, segregar, acondicionar e transportar seus resíduos até o armazenamento temporário dos resíduos	B
R6	Tecnologias	Controle e rastreamento de resíduos por meio do sistema SAP, e garante o monitoramento e a melhoria do processo de gerenciamento por meio da certificação do Sistema de Gestão Ambiental Nível 1 e do atendimento à NBR ISO 9001:2015.	B
R7	4Rs	Doação de resíduos recicláveis gerados em atividades administrativas para cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis, conforme o Decreto Estadual nº 8.426/2017.	C
R8	4Rs	Alienação dos resíduos que ainda têm capacidade de aproveitamento e valor econômico agregado, via leilões, e que podem retornar a cadeias produtivas por meio da reciclagem.	C
R9	4Rs	Recuperação dos transformadores e reguladores oriundos do sistema de distribuição de energia, por meio da Reformadora de Equipamentos,	D
R10	Tecnologias	Medição de indicadores relacionados a resíduos gerados, como tipo, quantidade e destinação	D

R11	4Rs	Utilização de cisterna para reuso da água da chuva, placas fotovoltaicas para microgeração de energia elétrica e instalação de dois eletropostos, além da preservação de árvores nativas em seu interior.	D
R12	4Rs	Reciclagem de óleo isolante e refrigerante com reestabelecimento de características	E
R13	4Rs	Reutilização de infraestrutura em fase de descomissionamento em projetos de armazenamento de energia	E
R14	4Rs	Utilização de Sistema IGS: ferramenta estratégica para gestão de indicadores que possui variáveis envolvendo temas como água, energia, resíduos, biodiversidade, ações voluntárias e conformidade	F
R15	4Rs	Todos os resíduos gerados nas usinas de carvão são preparados para serem vendidos e reaproveitados pela indústria cimenteira, incentivando a economia circular.	G
R16	4Rs	Coleta e destinação de resíduos para a reciclagem e reutilização	G
R17	4Rs	Sistema de reciclo em todas as unidades, permitindo a reutilização da água em estado líquido.	G
R18	4Rs	Usina possui sistema de reuso de água, por isso não há descarte de água.	H
R19	4Rs	Iniciativas de coleta e o reuso da água dos condicionadores de ar de alguns escritórios das empresas contratadas para execução das obras	H
R20	4Rs	Reuso do efluente tratado na Estação de Tratamento de Efluentes do canteiro para a rega de mudas plantadas em locais de recuperação de áreas degradadas, reduzindo a demanda por captação em poços perfurados ou mananciais.	H
R21	4Rs	Destinação adequada de placas fotovoltaicas substituídas nas usinas solares, que são destinadas à transformação em três componentes principais: vidro, cabos de cobre e metais.	H

R22	Cadeia de Suprimentos e Valor	Centro de Triagem de Resíduos abriga o projeto “Reconectando Sujeitos, Reciclando Atitudes”, que atua na formação de agentes de reciclagem.	H
R23	4Rs	Coleta de Destinação de 71,3% de resíduos gerados nas usinas para reciclagem	I
R24	4Rs	Aquisição de louças e metais com redutores de vazão e instalação de sistemas de reuso de água de chuva, cujo padrão de potabilidade não necessita de elevado grau de tratamento.	I
R25	4Rs	Coleta e reciclagem de aproximadamente 969 toneladas de embalagens pós-consumo	J
R26	4Rs	Utilização de caixas de papelão 100% ecológicas, feitas de bagaço de cana de açúcar, papelão descartado e a celulose convencional é substituída pela pasta extraída da reciclagem de embalagens longa vida	J
R27	4Rs	Sistemas de captação de água de chuva e de tratamento de água para reuso. Em 2022, foram reaproveitados mais de 2 milhões de litros de água nessas instalações, contribuindo para um menor volume retirado dos mananciais hídricos.	J

Quadro 6 – Práticas identificadas nos relatórios de sustentabilidade corporativos. Fonte: Elaborado pela autora.

Diferentemente das práticas observadas nos artigos, as apresentadas nos relatórios de sustentabilidade corporativa apresentam ações que estão em andamento. O princípio de 4Rs foi o mais representativo, com 82% das 27 identificadas; é possível verificar uma centralização em processos de reciclagem, tanto de resíduos quanto de água. As empresas citam em seus relatórios ações relacionadas a sustentabilidade e meio ambiente e comumente as citações trazem o princípio utilizado e para qual tipo de material e/ou ativo. Por exemplo, a prática R9 diz, “recuperação de transformadores”, a prática R12 cita “reciclagem de óleo isolante”, a R25 diz “coleta e reciclagem de embalagens pós consumo”.

As práticas de Cadeia de Suprimentos e Valor são descritas em forma de projetos, as práticas R2 e R22 tratam de práticas em formato de projetos e parcerias de reciclagem com cooperativas e com a sociedade.

A categoria tecnologia também apresentou poucas práticas e ambas estão relacionadas com a utilização de dados e tecnologia para medição e rastreamento de resíduos, fato que relaciona estas práticas também com os 4Rs por terem como objetivo o gerenciamento de resíduos.

4.3. Integração das práticas da literatura e dos relatórios de sustentabilidade corporativa

A interpretação e integração dessas práticas resultou em 31 práticas, sendo 8 referentes à categoria de Cadeia de Suprimentos e Valor, 11 endereçadas a categoria dos 4Rs, 2 na categoria de política, ciência e academia e 10 na categoria de tecnologias.

O Quadro 7 sintetiza os aspectos apresentados pelas práticas revisadas, mantendo a concordância nos princípios da EC e seus objetivos.

Categoria	Código	Texto
Cadeia de Suprimentos e Valor	CSV1	Analisar a inclusão de cláusulas contratuais com os fornecedores de peças principais de equipamentos de geração para o fornecimento de peças ou subconjuntos de equipamentos reconicionados
Cadeia de Suprimentos e Valor	CSV2	Formalizar em contrato, com os fornecedores de equipamentos de geração, que o produtor participe e auxilie nos custos de recuperação dos equipamentos
Cadeia de Suprimentos e Valor	CSV3	Aplicação o modelo de suprimentos circulares em suas atividades de compras, gestão de fornecedores e cadeia de suprimentos sustentável
Cadeia de Suprimentos e Valor	CSV4	Desenvolver um sistema de logística reserva em conjunto com fabricantes de painéis fotovoltaicos
Cadeia de Suprimentos e Valor	CSV5	Formalizar em contrato, com os fornecedores de equipamentos de geração, considerando que o produtor participe e auxilie nos custos de reciclagem dos equipamentos
Cadeia de Suprimentos e Valor	CSV6	Criar uma rede de informação entre os produtores e os recicladores, com gerenciamento e recuperação dos principais resíduos dos painéis solares e baterias
Cadeia de Suprimentos e Valor	CSV7	Criar programa para formação de agentes de reciclagem
Cadeia de Suprimentos e Valor	CSV8	Trabalhar em parceria com cooperativas/recicladores formais locais que realizam a reciclagem de resíduos não perigosos, como papel, plástico, madeira e metais.
4Rs	R1	Aumentar a quantidade reciclada de pás e materiais relacionados a pás eólicas
4Rs	R2	Estudar opções de reciclagem de componentes de forma separada para melhorar as taxas de reciclagem
4Rs	R3	Destinação adequada de placas fotovoltaicas substituídas nas usinas solares, que são destinadas à transformação em três componentes principais: vidro, cabos de cobre e metais.
4Rs	R4	Implementar o hibridismo na geração de energia, como por exemplo, produzir energia eólica e solar no mesmo espaço, estando em conformidade com o princípio de redução da EC.
4Rs	R5	Analisar ativos antigos (por exemplo, todo o WT ou um componente específico) que estiverem em boas condições funcionais, podem ser reutilizados no mesmo parque eólico ou num local diferente

4Rs	R6	Reaproveitamento de resíduos em fase de descomissionamento, como placas solares, geradores, transformadores e placas eólicas
4Rs	R7	Coleta e destinação de resíduos para a reciclagem
4Rs	R8	Reutilização de água (sistemas de captação de água de chuva e de tratamento de água para reuso)
4Rs	R9	Recuperação de equipamentos completos, para reutilização, como por exemplo, transformadores
4Rs	R10	Produção autônoma de energia para utilização em escritórios
4Rs	R11	Utilização métodos de medida, como o LCOE (Levelized Cost of electricity) que mede o custo líquido médio de geração de eletricidade para um gerador ao longo de sua vida útil, a fim de determinar a vida real dos componentes e permitir um projeto que utilizará menos recursos
4Rs	R12	Utilização de indicadores de avaliação do desempenho envolvendo temas como água, energia, resíduos, biodiversidade
Política; Ciência e Academia	P1	Criar parcerias com instituições acadêmicas, centros de inovação e produtores de equipamentos de geração para criar e estabelecer locais pilotos e infraestruturas conjuntas que forneçam tecnologias e técnicas eficientes para a reciclagem
Política; Ciência e Academia	P2	Criar parcerias estratégicas com stakeholders tais como, universidades, centros de pesquisa e governos, com objetivo de estudar e criar alternativas circulares
Tecnologias	TEC1	Automação de sistemas de ar e aquecimento em prédios (escritórios, usinas) para diminuição de consumo de energia
Tecnologias	TEC2	Solicitar ou desenvolver com os fornecedores passaportes digitais de produtos que contenham informações sobre produtos em toda a cadeia de valor e ciclo de vida e declarações ambientais
Tecnologias	TEC3	Utilização de tecnologias, big data, Iot, para antecipação de manutenções, necessidades de materiais para evitar desperdícios.
Tecnologias	TEC4	Utilização de novas tecnologias para o planejamento e monitoramento do vento e sol, para fornecer dados mais precisos no projeto de construção
Tecnologias	TEC5	Utilização tecnologia blockchain para rastrear falhas e indicadores de ciclo de vida de equipamentos utilizados na construção de parques eólicos e solares

Tecnologias	TEC6	Utilizar ferramentas tecnológicas (sistemas, apps) para o monitoramento de resíduo gerados durante o processo de descomissionamento
Tecnologias	TEC7	Utilização de robôs autônomos de limpeza de painéis solares
Tecnologias	TEC8	Utilização ferramentas tecnológicas para o planejamento da localização de terras para construção de usinas eólicas, para mitigar riscos a biodiversidade
Tecnologias	TEC9	Utilização de sistema SAP ou outro ERP para rastreamento de resíduos por meio de dados

Quadro 7 – Práticas integradas da literatura e relatórios de sustentabilidade corporativa. Fonte: Elaborado pela autora.

Na categoria de práticas de cadeia de Suprimentos e Valor foi possível utilizar na integração todas as práticas identificadas na literatura e também nos relatórios de sustentabilidade corporativa. As práticas observadas nos relatórios são mais direcionadas a projetos como, por exemplo, atuação na formação e parcerias com recicladores formais. Mesmo se tratando de uma prática com relação ao sistema de reciclagem, os recicladores se tornam clientes e fornecedores de grandes empresas, fazendo parte das cadeias de suprimentos. Além disso, as parcerias com recicladores podem facilitar também o desenvolvimento de um sistema de logística reserva e aplicação de modelos circulares nas operações de compras, práticas que foram observadas na literatura, o que demonstra a consonância das práticas desta categoria observadas tanto nos relatórios quanto na literatura.

As práticas da categoria dos 4Rs (reduzir, reutilizar e reciclar, recuperar), foram mais observadas tanto na literatura acadêmica quanto nos relatórios de sustentabilidade corporativa. No entanto, a integração destas práticas demonstrou que em sua grande parte elas são direcionadas para ações de reciclagem. Notou-se também que práticas de reciclagem encontradas na literatura foram mais específicas para o produto final de geração de energia a ser reciclado, como pás eólicas e painéis fotovoltaicos, enquanto nas práticas dos relatórios estavam mais direcionadas para outros tipos de ações de reciclagem, como por exemplo, reciclagem de óleos isolantes e embalagens pós-consumo. Nesta categoria também foram integradas práticas relacionadas à utilização de medidas e indicadores para monitoração de desempenho envolvendo temas de resíduos e utilização de menos recursos.

As duas práticas da categoria Política, Ciência e Academia foram resultados da integração de três práticas identificadas na literatura. Não foram encontradas práticas desta categoria nos relatórios de sustentabilidade corporativa. As duas práticas condensadas em uma tratavam da criação de parcerias com principais stakeholders regionais e municipais, enquanto a outra citava a criação de parcerias com universidades e centros de pesquisa, ambos para criação de alternativas circulares, estas duas práticas foram integradas resultando na prática P2.

Por fim, as práticas de Tecnologias, que eram onze, após integração resultaram em nove. Diferentemente das práticas das outras categorias, as práticas de tecnologias se apresentaram mais diversas. As práticas identificadas e integradas foram analisadas em seu direcionamento para impulsionar ações da EC, como, por exemplo, a utilização de tecnologias, big data, IoT, para antecipação de manutenções evitando desperdícios, a utilização de robôs autônomos de limpeza de painéis solares, além da utilização de sistema SAP ou outro ERP para rastreamento de resíduos por meio de dados.

Na próxima seção será apresentado o framework teórico proposto com as práticas

integradas nesta seção. Os próximos tópicos sintetizam, a partir de quadros resumos, cada uma das categorias, bem como seus agrupamentos de atividades.

4.4. Framework conceitual de práticas da economia circular para geradoras de energia renovável

Para o desenvolvimento e proposição do framework conceitual, foram utilizadas propostas encontradas na literatura de frameworks integrativos da EC, porém relacionados a outros temas, como fases de produção de couro bovino e no desenvolvimento de produtos aeronáuticos circulares (ALMEIDA, 2014; DIAS, 2019), o qual sintetizam seus frameworks com iniciativas e princípios da EC com definições dos 10Rs (recusar, repensar, reduzir, reutilizar, reparar, remodelar, reaproveitar, recuperar, reciclar), propostos por Potting et al. (2017) e ações do modelo ReSOLVE. Adotou-se estrutura semelhante, porém, orientada para as questões de aplicações da EC na geração de energia renovável em empresas centralizadoras. A Figura 8 apresenta o framework conceitual proposto. Em seguida, o Quadro 10 apresenta as práticas para cada dimensão do framework.

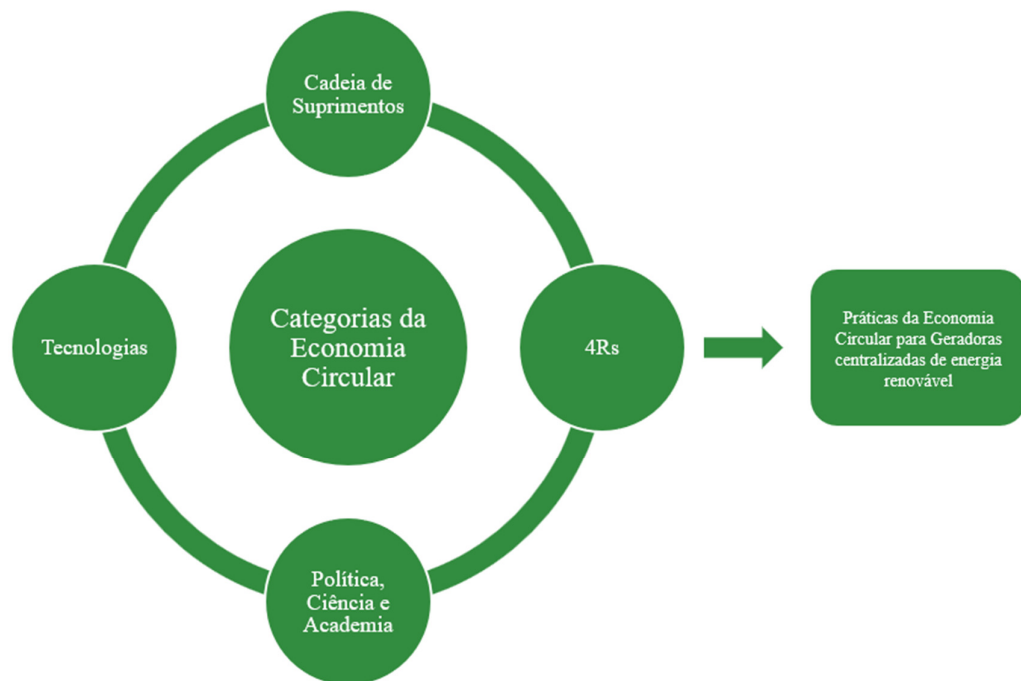
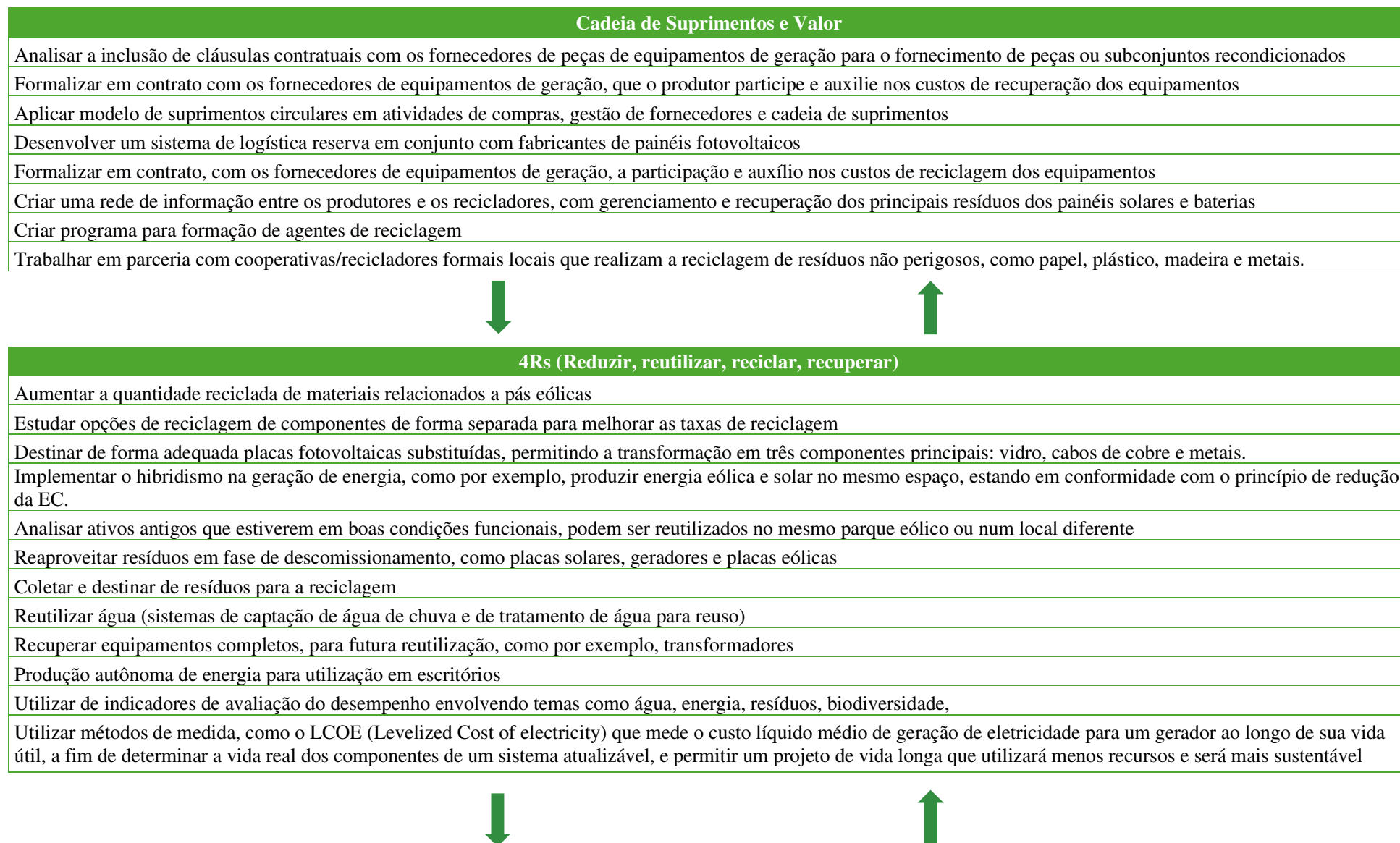


Figura 8 – Framework de práticas da EC em geradoras de energia renovável. Fonte:

Elaborado pelo autor.

Práticas da Economia Circular para Geradoras centralizadas de Energia Renovável



Práticas da Economia Circular para Geradoras centralizadas de Energia Renovável

Política; Ciência e Academia

Criar parcerias com instituições acadêmicas, centros de inovação e produtores de equipamentos de geração para criar e estabelecer locais pilotos e infraestruturas conjuntas que forneçam tecnologias e técnicas eficientes para a reciclagem

Criar parcerias estratégicas com stakeholders tais como, universidades, centros de pesquisa e governos, com objetivo de estudar e criar alternativas circulares



Tecnologias

Automação de sistemas de ar e aquecimento em prédios (escritórios, usinas) para diminuição de consumo de energia

Solicitar ou desenvolver com os fornecedores passaportes digitais de produtos que contenham informações sobre produtos em toda a cadeia de valor e ciclo de vida e declarações ambientais

Utilização de tecnologias, big data, Iot, para antecipação de manutenções, necessidades de materiais para evitar desperdícios.

Utilização de novas tecnologias para o planejamento de localização de terras e monitoramento do vento e sol, para fornecer dados mais precisos no projeto de construção

Utilização de tecnologia blockchain para rastrear falhas e indicadores de ciclo de vida de equipamentos utilizados na construção de parques eólicos e solares

Utilizar ferramentas tecnológicas (sistemas, apps) para o monitoramento de resíduo gerados durante o processo de descomissionamento

Utilização de robôs autônomos de limpeza de painéis solares

Utilização ferramentas tecnológicas para o planejamento da localização de terras para construção de usinas eólicas, para mitigar riscos a biodiversidade

Utilização de sistema SAP ou outro ERP para rastreamento de resíduos por meio de dados

Quadro 8 – Framework para aplicação de práticas da EC em geradoras centralizadas de energia renovável. Fonte: Elaborado pela autora

Considerando este framework teórico proposto, os próximos tópicos sintetizam cada uma das categorias, conexões no ciclo do modelo circular, seus agrupamentos e atividades.

Para o entendimento de como as práticas citadas no framework podem auxiliar empresas geradoras de energia renovável na aplicação do modelo circular, é importante entender como cada uma das quatro categorias (Cadeia de Suprimentos e Valor, 4Rs, Política, Ciência e Academia e Tecnologias) interagem entre si e como se relacionam no modelo circular de acordo com a literatura.

Categoria: Cadeia de Suprimentos e Valor

Entende-se que a consideração da categoria de cadeia de Suprimentos e Valor na adoção de práticas circulares é relevante devido a necessidade das empresas em gerir resíduos gerados em suas atividades criando uma visão de desperdício zero (BURKE et al. 2023). De acordo com a Fundação Ellen MacArthur (2023) as cadeias de suprimentos circulares exigem redes interconectadas e parcerias com fornecedores e clientes. Esta exigência está alinhada com as práticas do framework teórico proposto, que propõe inclusão de cláusulas contratuais com os fornecedores, formalização de contratos com fornecedores para recuperação de equipamentos e aplicação do modelo circular nas atividades de compras e suprimentos.

Desenvolver um sistema de logística reserva em conjunto com fabricantes de painéis fotovoltaicos foi uma das práticas encontradas na categoria de Cadeia de Suprimentos e Valor. A literatura também tem apresentado a logística reversa como uma prática dentro da EC, por ser um campo da logística que controla o retorno dos materiais já utilizados no ciclo produtivo, através de canais de distribuição reversos, agregando valor econômico e ecológico, por meio da reutilização, reciclagem, recuperação ou remanufatura, de produtos que não podem mais ser utilizados (NIEHUES BUSS et al. 2022). Esta prática está relacionada com a estratégia de Closing Loops (ciclos fechados), que de acordo Konietzko et al (2020) é uma atividade que consiste em trazer os resíduos pós-consumo de volta ao ciclo econômico, um princípio de projetar materiais adequados para reciclagem primária.

Trabalhar em parceria com cooperativas/recicladores e criar um ecossistema para recuperação de peças e equipamentos são práticas descritas no framework que criam valor a partir do gerenciamento de resíduos. O Decreto nº 10.936 (BRASIL, 2022) estabeleceu que os fabricantes, os importadores, os distribuidores e os comerciantes dos produtos, devem estruturar, implementar e operar os sistemas de logística reversa, através do retorno dos produtos após o uso pelo consumidor e que as cooperativas de catadores de materiais recicláveis poderão integrar o sistema de logística reversa desde que sejam legalmente constituídas, cadastradas e habilitadas na forma prevista na legislação.

No cenário da geração de energia renovável, a literatura tem ressaltado a importância da logística reversa com a EC. Placas fotovoltaicas possuem materiais preciosos, como o silício, e com a reciclagem, é possível reutilizar esses materiais na fabricação de novas placas ou produtos em outras indústrias (FERNANDES, 2023).

Okafor et al. (2021) analisaram a participação da EC na transição energética e verificaram que a sinergia da EC com a transição energética pode ocorrer mediante um sistema de suprimentos com menos consumo de carbono e mais utilização de energia renovável, a transformação de resíduos em nova matéria-prima e a colaboração em toda a cadeia de valor da geração de energia renovável. Os autores apresentaram alguns exemplos que podem ser utilizados por geradoras de energia renovável, como a exigência de que produtores de painéis fotovoltaicos financiem custos de recuperação e reciclagem de painéis para serem utilizados em aplicações secundárias na geração de energia.

No setor de geração eólica, Nag et al. (2022) avaliaram os requisitos de valor para o sistema de produto-serviço em EC para empresas de energia renovável por fonte eólica. A recompra de produtos, por exemplo, foi citada como uma forma de que no fim da vida útil dos parques eólicos as geradoras possam estender o ciclo de vida com atualização ou repotenciação, tornando a atividade do ciclo de compra dos materiais pelas geradoras de energia como uma criação de valor circular enfatizado pelo design e serviços circulares de operação e manutenção.

4Rs (Reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar)

Esta categoria endereça os 4R e suas dimensões que propõem um sistema que fornece alternativas ao uso de matérias-primas virgens, que pode ser alcançado através de design, manutenção, reparo, reutilização, remanufatura, reforma e reciclagem (KIRCHHERR et al. 2023).

Nota-se no framework que as práticas desta categoria se relacionam nas dimensões de reciclagem de pás eólicas e painéis fotovoltaicos. “Aumentar a quantidade reciclada de pás e equipamentos relacionados a pás eólicas (pg. 54)”;

“destinar de forma adequada placas fotovoltaicas substituídas (pg. 54)”, e “reaproveitar resíduos em fase de descomissionamento, como placas solares, geradores e placas eólicas (pg. 55)” são algumas práticas que possuem o objetivo de diminuir a quantidade de matérias primas para novos produtos, além de manter o ciclo econômico do ecossistema de geração de energia.

Em casos da geração eólica, Korniejenko et al. (2021) destacam que existem possibilidades para o gerenciamento dos resíduos. No caso de pás eólicas existe a possibilidade de usar as pás pelo maior tempo possível antes que o tratamento de resíduos seja necessário. Para este caso, a importância da manutenção e reparo preventivos são enfatizados. Outro desafio

está relacionado à reutilização dos grandes componentes de uma pá eólica. Alguns exemplos foram apresentados pela Wind Europe (2020) como forma de reutilizar uma parte existente da lâmina: reutilizar as lâminas para playgrounds ou mobiliário, estruturas de construção, por exemplo, abrigos para bicicletas, pontes, passarelas e reutilização arquitetônica.

Um exemplo que vem sendo aplicado na Dinamarca e na Alemanha foi apresentado por Marsh (2017), o qual está relacionado com a segunda vida para pás recicladas; no qual um mercado secundário pode ser desenvolvido para lâminas originais que, reformadas podem ser úteis em turbinas menos potentes em parques eólicos de menor escala, geralmente fora da rede, que poderão permanecer por algum tempo com vida útil restante. Este exemplo se relaciona com a prática citada no framework teórico de analisar ativos antigos (por exemplo, um aerogerador ou um componente específico) que estiverem em boas condições funcionais, podem ser reutilizados no mesmo parque eólico ou num local diferente.

No caso da energia solar, a literatura também tem apresentado a importância da aplicação das dimensões dos 4Rs no processo de gerenciamento de resíduos de placas fotovoltaicas. Segundo Jones (2024) um dos maiores equívocos de grandes empresas é pensar que os resíduos das usinas solares surgem somente após os 30 anos de vida útil. De acordo com o autor, acidentes no transporte, no carregamento e descarregamento, erros de instalação e manutenção, eventos externos, além de refugo na produção das montadoras de painéis, são alguns dos motivos que podem antecipar a necessidade de tratamento dos resíduos desta fonte de geração.

A literatura apresenta também práticas circulares relacionadas ao fim de vida de placas fotovoltaicas. Dias et al (2022) ressaltam que mesmo com desafio, a reciclagem de painéis fotovoltaicos traz benefícios potenciais na reutilização de materiais recuperados, compensando custos econômicos e impactos ambientais. A principal motivação para o desenvolvimento da reciclagem de painéis solares é a quantidade de elementos que é incluído nos produtos: vidro, plástico, silício, e metais como alumínio (KORNIEJENKO et al 2023). No entanto, o vidro representa 75% do peso de um painel fotovoltaico, determinando qual processo de reciclagem é mais adequado para este produto; ambientalmente, a decisão de aterrar o vidro é menor, sendo que a descoberta de empresas adequadas a comprar vidro recuperado é a melhor decisão economicamente e ambientalmente (DIAS et al. 2022).

Neste sentido surgem as oportunidades para as empresas geradoras de energia aplicarem práticas já citadas na categoria de cadeias de suprimentos que citam a criação programas e parcerias para formação de agentes de reciclagem, assim como na Alemanha onde pesquisadores do Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energia Solar e do Centro Fraunhofer

para Silício Fotovoltaico desenvolveram uma solução em parceria com a maior empresa de reciclagem local, a Reiling GmbH & Co. KG para a recuperação do silício dos módulos descartados e sua reutilização na produção de novas células solares com a tecnologia Perc (Passivated Emitter Rear Cell), empregada nas novas gerações de painéis, com células fotovoltaicas mais finas (JONES, 2024).

No Brasil são poucas empresas que atuam com reciclagem de painéis fotovoltaicos, a primeira empresa de coleta e reciclagem de módulos fotovoltaicos foi criada em 2020. O processo inicia com a retirada das estruturas metálicas para serem moídas. Depois deste processo, o conteúdo é separado por densidade e encaminhado para empresas que conseguem absorver a matéria-prima para a reutilização em outro tipo de mercado (IBDN, 2021).

Outras práticas dos 4Rs apresentadas no framework teórico também são tratadas na literatura considerado sua aplicação no contexto da economia circular. A reutilização de água nos escritórios, por exemplo, é uma prática que permite que a água seja reinserida no sistema (escritório) depois de tratada (EY, 2023). A CETESB (2017) aplicou projetos de uso racional de água em seus escritórios. Medidas como troca de tubulações antigas, manutenção preventiva e combate aos vazamentos foram tomadas, além de um sistema que aproveita a água da chuva para fazer o resfriamento de destiladores nos laboratórios, irrigação dos jardins, descarga nos banheiros e lavagem dos pátios.

Política, Ciência e Academia

As soluções para criações de processos tecnológicos e desenvolvimento de uma cadeia de recuperação, dependem também de requisitos regulatórios e mecanismos políticos para conseguirem avançar (MONTEIRO DE SOUSA et al. 2023). As empresas devem se aproveitar de estratégias, planos e políticas nacionais, além de incentivos acadêmicos para avançar em direção ao modelo circular. Parcerias para o desenvolvimento de produtos, sistemas de coleta compartilhados, incentivos e mecanismos de identificação de possíveis parceiros podem ser explorados em plataformas colaborativas com participação de empresas e formuladores de políticas (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2024).

O framework teórico apresentou duas práticas que envolvem a criação de parcerias com instituições acadêmicas, centros de pesquisa e governo para o estudo de iniciativas circulares. Esta prática pode ser adotada por geradoras de energia renovável em suas estratégias de negócios nos aspectos econômicos, ambientais e sociais, na redução dos impactos causados por suas operações, além da contribuição para a regeneração dos sistemas que sustentam a vida e impactam a sociedade de forma positiva (CEBDS, 2024).

No aspecto de parceria acadêmicas, as empresas podem se unir a movimentos já criados,

como o Movimento do Pacto Global da ONU no Brasil, o Conexão Circular, que foi criado para reunir empresas, sociedade civil e universidades que juntas pretendem incentivar as organizações no atingimento de metas como de aterro zero e o desenvolvimento de modelos circulares, junto com soluções baseadas na ciência de dados, métricas de gestão, acompanhamento de centros de pesquisa e compartilhamento de práticas empresariais (PACTO GLOBAL, 2022).

Um exemplo de proposição de parcerias entre empresas do setor solar e centros de pesquisas foi analisado por Askin et al (2023), que analisaram sinergias entre o modelo circular e a fonte de geração solar. Os resultados mostraram que os produtores e geradores de energia solar devem se envolver em negócios inovadores, financiamentos conjuntos, além de participar de estudos com instituições acadêmicas e centros de pesquisa para obterem colaboração não somente do setor solar, mas de outros setores que envolvam engenheiros ambientais, cientistas de pesquisa comportamental, P&D, além da obtenção e realização de iniciativas para o desenvolvimento tecnológico de processos eficientes para a reciclagem de painéis fotovoltaicos.

Outro exemplo que une parcerias entre empresas geradoras de energia renovável e academia ocorre na Europa, onde uma empresa global de energia eólica criou uma parceria com uma fabricante de produtos químicos, com a Universidade Aarhus e ao Danish Technological Institute na iniciativa CETEC (Economia Circular para Compósitos Epóxi Termoconversíveis) da Dinamarca para criarem um processo químico que seja capaz de decompor todos os elementos das pás eólicas, transformando as pás de turbinas à base de epóxi em uma fonte de matéria-prima para construir novas pás de turbinas promovendo a circularidade do produto (ABEEÓLICA, 2023).

Tecnologias

Processos de digitalização, tecnologias de Internet das Coisas (IoT), troca de dados, análises preditivas e blockchain são exemplos de tecnologias com que as empresas podem alavancar e transformar seus modelos de negócios para obter benefícios de sustentabilidade. Essas tecnologias são ferramentas capazes de otimizar a logística reversa, a reutilização de materiais e a reciclagem, viabilizando, portanto, a implementação prática da economia circular (PARIDA et al. 2019; YILDIZBASI, 2021).

A literatura tem sugerido que as tecnologias são fatores chaves para modelos de negócios de serviços e são suportes para implementação e transição do modelo circular através de algumas funcionalidades específicas, como: design de produto, atração de clientes, rastreamento de atividade dos produtos, fornecimento de suporte técnico, manutenções

preventivas e preditivas, renovação de fim de vida útil (BRESSANELLI et al. 2018).

As capacidades da tecnologia blockchain, por exemplo, podem dar suporte as empresas na transição para a EC através dos recursos de transparência, rastreabilidade, segurança e precisão nos casos de rastreamento de resíduos para reciclagem e monitoramento de emissões de CO₂ (UPADHYAY et al. 2021; YILDIZBASI, 2021; MUTEZO E MULTO, 2021). A internet das coisas (IoT) pode ser utilizada para monitorar dados de produtos, dados que podem ser recebidos em tempo real através de satélites, auxiliando em manutenções preventivas e preditivas e aumentando a vida útil de componentes e peças de grandes equipamentos como turbinas eólicas (PROSKURYAKOVA e ERMOLENKO, 2019, BRESSANELLI et al. 2018).

No contexto das empresas geradoras de energia renovável as tecnologias se expandem além da digitalização. Alguns exemplos estão em algumas práticas do framework teórico, como: “utilização ferramentas tecnológicas para o planejamento da localização de terras para construção de usinas eólicas para mitigar riscos a biodiversidade (pg. 60)”, “utilização de robôs autônomos de limpeza de painéis solares (pg. 60)”, “automação de sistemas de ar e aquecimento em prédios (escritórios, usinas) para diminuição de consumo de energia (pg. 60)”. Estas práticas possuem sinergia com tecnologias da indústria 4.0 e com o desenvolvimento sustentável (DANTAS et al. 2021), além de estarem relacionadas com as categorias de reparo, redução, reutilização, remanufatura e reciclagem (ABBASI e KAMAL, 2020).

Alguns exemplos da literatura e de empresas, podem auxiliar empresas geradoras de energia renovável no estudo e aplicação das práticas da EC na categoria de tecnologia. MACIEL et al. (2023) utilizaram um protótipo de robô semiautomatizado para limpeza periódica de painéis fotovoltaicos. O projeto do Robô Limpador de Placas Solares foi realizado para otimizar a eficiência na manutenção de sistemas fotovoltaicos e promover a limpeza regular das placas. Os autores identificaram que além dos benefícios financeiros, a utilização de um robô semiautomático para limpeza alinha-se aos princípios da sustentabilidade, pois reduz a quantidade de água e produtos químicos que impactam o meio ambiente, além de melhorar a eficiência de geração de energia limpa.

Em estudo aplicado para seleção de locais para construção de parques eólicos, Sotiropoulou e Vavatsikos (2021), combinaram tecnologia de sistemas de informações geográficas (GIS) com métodos de tomada de decisão para auxiliar na decisão pelos locais de construção e evitar impactos nas esferas de design, turismo, proteção civil e proteção ambiental. A utilização da tecnologia apresentou benefícios e transparência para a tomada de decisão, evitando a construção de grandes parques eólicos em locais inapropriados, o que pode ocasionar quantidade elevada de resíduos e alteração na estética natural do meio ambiente, na flora, fauna

e regiões costeiras.

4.5. Resultados Fuzzy Delphi

Os dados brutos com as respostas dos especialistas foram anonimizados, por questão de confidencialidade. Após coletar as respostas dos especialistas por meio da survey, a etapa 4 é conservação das respostas em números *fuzzy* triangulares para cada prática analisada. Em seguida as próximas etapas do processo são a agregação para cada critério e então a transformação dos dados para valores crisp.

A interpretação das tabelas 8, 9, 10 e 11 foi realizada da seguinte maneira: a primeira coluna identifica a prática analisada de acordo com sua categoria (Cadeia de Suprimentos e Valor, 4Rs, Política, Academia e Ciência, e Tecnologias); a segunda coluna é o cálculo do valor crisp (Z_i); a terceira coluna é o valor $d_{méd}$ para cada elemento analisado. Este valor é uma maneira de expressar a dispersão média das respostas dos especialistas. A quarta coluna indica o índice de consenso, ele identifica a porcentagem de valores $d_{méd}$ que estão abaixo do limite estabelecido; a quinta coluna indica se o fator analisado foi aceito ou não, para ser aceito o valor crisp deve ser maior ou igual a 0,7, o $d_{méd}$ menor ou igual a 0,2 e o índice de consenso maior ou igual a 0,75 (BATTISSACCO, 2023; CHANG et al. 2011; MANAKANDAN et al. 2017; HABIB, JAHANTIGH E SARAFRAZI 2015).

O critério de aceitação foi estabelecido de acordo com o valor limite α determinado pelo autor, de acordo com o proposto por Battissacco (2023), Chang et al (2011) e Manakandan et al (2017) $d_{méd}$ e de acordo Habib, Jahantigh e Sarafrazi (2015) para o valor crisp, que maior de 0,7 se encontra nos termos linguísticos “importante” e “muito importante”. A Tabela 8 apresenta a análise para as práticas relacionadas a Cadeia de Suprimentos e Valor.

Identificação	Z_i	$d_{méd}$	Índice de consenso	Aceitabilidade	Consenso
CSV1	0,748	0,129	0,785	Aceito	Sim
CSV2	0,791	0,086	1,000	Aceito	Sim
CSV3	0,804	0,084	1,000	Aceito	Sim
CSV4	0,803	0,097	0,928	Aceito	Sim
CSV5	0,87	0,022	1,000	Aceito	Sim
CSV6	0,802	0,11	0,857	Aceito	Sim
CSV7	0,735	0,121	0,785	Aceito	Sim
CSV8	0,776	0,117	0,857	Aceito	Sim

Tabela 8 – Aceitabilidade e Consenso para Cadeia de Suprimentos e Valor

A Tabela 9 apresenta a análise para as práticas relacionadas aos 4Rs (Reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar).

Identificação	Z_i	d_{med}	Índice de consenso	Aceitabilidade	Consenso
R1	0,817	0,079	1,000	Aceito	Sim
R2	0,803	0,097	0,928	Aceito	Sim
R3	0,857	0,042	1,000	Aceito	Sim
R4	0,763	0,115	0,857	Aceito	Sim
R5	0,790	0,100	0,928	Aceito	Sim
R6	0,817	0,079	1,000	Aceito	Sim
R7	0,802	0,110	0,857	Aceito	Sim
R8	0,830	0,070	1,000	Aceito	Sim
R9	0,778	0,084	1,000	Aceito	Sim
R10	0,736	0,100	0,857	Aceito	Sim
R11	0,789	0,115	0,857	Aceito	Sim
R12	0,696	0,086	1,000	Não Aceito	Sim

Tabela 9 – Aceitabilidade e Consenso para 4Rs (Reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar)

A Tabela 10 apresenta a análise para as práticas relacionadas Política, Ciência e Academia.

Identificação	Z_i	d_{med}	Índice de consenso	Aceitabilidade	Consenso
CA1	0,829	0,080	0,928	Aceito	Sim
CA2	0,816	0,090	0,928	Aceito	Sim

Tabela 10 – Aceitabilidade e Consenso para Política, Ciência e Academia.

A Tabela 11 apresenta a análise para as práticas relacionada as Tecnologias.

Identificação	Z_i	d_{med}	Índice de consenso	Aceitabilidade	Consenso
T1	0,694	0,138	1,000	Não Aceito	Sim
T2	0,721	0,134	0,714	Não Aceito	Não
T3	0,790	0,100	0,928	Aceito	Sim
T4	0,802	0,110	0,857	Aceito	Sim
T5	0,750	0,109	0,857	Aceito	Sim
T6	0,735	0,121	0,785	Aceito	Sim
T7	0,748	0,129	0,857	Aceito	Sim
T8	0,734	0,144	0,785	Aceito	Sim
T9	0,707	0,149	0,714	Não Aceito	Não

Tabela 11– Aceitabilidade e Consenso para Tecnologias

Todas as práticas relacionadas a Cadeia de Suprimentos e Valor foram aceitas e todas com consenso, mostrando a relevância desta categoria para os especialistas. Na categoria dos 4Rs (Reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar), a prática “R12” não foi aceita e não houve consenso, ou seja, os especialistas avaliaram que utilizar métodos de medida, como o LCOE (Levelized Cost of electricity) que mede o custo líquido médio de geração de eletricidade para um gerador ao longo de sua vida útil, não é uma prática relevante para a EC no contexto de geradoras centralizadas de energia renovável. As duas práticas na categoria de Política, Ciência e Academia foram consideradas importantes com consenso dos respondentes. Por fim, nas práticas da categoria de Tecnologia a prática “T1”, “T2” e “T9”, sendo a “T1” de automação de sistemas de ar e aquecimento em prédios (escritórios, usinas) para diminuição de consumo de energia, com maior consenso de não aceitabilidade pelos especialistas.

Desta forma, as seguintes práticas da EC para adoção em geradoras centralizadas de energia renovável foram avaliadas como importantes e tiveram consenso entre os especialistas (Quadro 9).

Nº	Identificação	Prática
1	CSV5	Formalizar em contrato, com os fornecedores de equipamentos de geração, a participação e auxílio nos custos de reciclagem dos equipamentos
2	R3	Destinar de forma adequada placas fotovoltaicas substituídas, permitindo a transformação em três componentes principais: vidro, cabos de cobre e metais.
3	R8	Reutilizar água (sistemas de captação de água de chuva e de tratamento de água para reuso)
4	CA1	Criar parcerias com instituições acadêmicas, centros de inovação e produtores de equipamentos de geração para criar e estabelecer locais pilotos e infraestruturas conjuntas que forneçam tecnologias e técnicas eficientes para a reciclagem
5	R1	Aumentar a quantidade reciclada de equipamentos relacionados a pás eólicas
6	R6	Reaproveitar resíduos em fase de descomissionamento, como placas solares, geradores e placas eólicas
7	CA2	Criar parcerias estratégicas com stakeholders tais como, universidades, centros de pesquisa e governos, com objetivo de estudar e criar alternativas circulares
8	CSV3	Aplicar do modelo de suprimentos circulares em atividades de compras, gestão de fornecedores e cadeia de suprimentos
9	CSV4	Desenvolver um sistema de logística reserva em conjunto com fabricantes de painéis fotovoltaicos
10	R2	Estudar opções de reciclagem de componentes de forma separada para melhorar as taxas de reciclagem
11	CSV6	Criar uma rede de informação entre os produtores e os recicladores, com gerenciamento e recuperação dos principais resíduos dos painéis solares e baterias
12	R7	Coletar e destinar de resíduos para a reciclagem
13	T4	Utilização de novas tecnologias para o planejamento de localização de terras e monitoramento do vento e sol, para fornecer dados mais precisos no projeto de construção
14	CSV2	Formalizar em contrato com os fornecedores de equipamentos de geração, que o produtor participe e auxilie nos custos de recuperação dos equipamentos
15	R5	Analisar ativos antigos que estiverem em boas condições funcionais, podem ser reutilizados no mesmo parque eólico ou num local diferente
16	T3	Utilização de tecnologias, big data, IoT, para antecipação de manutenções, necessidades de materiais para evitar desperdícios.
17	R11	Utilizar de indicadores de avaliação do desempenho envolvendo temas como água, energia, resíduos, biodiversidade,
18	R9	Recuperar equipamentos completos, para futura reutilização, como por exemplo, transformadores
19	CSV8	Trabalhar em parceria com cooperativas/recicladores formais locais que realizam a reciclagem de resíduos não perigosos, como papel, plástico, madeira e metais.
20	R4	Implementar o hibridismo na geração de energia, como por exemplo, produzir energia eólica e solar no mesmo espaço, estando em conformidade com o princípio de redução da EC.
21	T5	Utilização de tecnologia blockchain para rastrear falhas e indicadores de ciclo de vida de equipamentos utilizados na construção de parques eólicos e solares
22	CSV1	Analisar a inclusão de cláusulas contratuais com os fornecedores de peças de equipamentos de geração para o fornecimento de peças ou subconjuntos recondicionados
23	T7	Utilização de robôs autônomos de limpeza de painéis solares
24	R10	Produção autônoma de energia para utilização em escritórios
25	CSV7	Criar programa para formação de agentes de reciclagem
26	T6	Utilização de sistemas e apps para o monitoramento de resíduo gerados durante o processo de descomissionamento

Quadro 9 – Práticas elegidas pelos especialistas em ordem crescente

Ao todo 26 práticas foram consideradas importantes e/ou muito importantes na visão e consenso dos especialistas. As práticas com maior relevância foram as relacionadas a Cadeia de Suprimentos e Valor, 4Rs e política, ciência e academia. A prática CSV5 foi considerada a mais importante no consenso dos especialistas e trata da formalização em contrato entre fornecedores e empresas geradoras sobre o auxílio na reciclagem dos equipamentos por parte dos fornecedores. As três práticas seguintes na ordem de importância também tratam sobre reciclagem, enfatizando a importância da reciclagem no ciclo de vida das operações em geradoras centralizadas de energia. A R3 e R8 tratam de reciclagem de placas fotovoltaicas e de água (reaproveitamento de água da chuva), já a prática CA1, trata sobre a criação de parcerias com instituições acadêmicas para criação de técnicas mais eficientes de reciclagem.

Onze das vinte e cinco práticas resultantes estão na categoria dos 4Rs (Reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar), as práticas tratam sobre reciclagem, recuperação e reaproveitamento dos equipamentos de geração de energia. com exceção das práticas R4 e R10 que tratam sobre hibridismo na geração de energia e produção autônoma de energia em escritórios. Na percepção dos especialistas utilizar o mesmo espaço para construir plantas eólicas e solares, por exemplo, é uma prática importante para criar geradoras de energia renovável em fontes diferentes no modelo circular.

Oito das principais práticas derivam da categoria de cadeia de suprimentos e valor, mostrando o consenso entre os especialistas na importância dos fornecedores e parceiros no setor de geração de energia. Os especialistas também consideram importante a aplicação de compras circulares no processo de compras de materiais e serviços da empresa. Esta resposta foi considerada principalmente pelos Analistas de Suprimentos Renováveis que participam de todo o processo de compras e entendem que além da compra circular, a gestão pós contratação também deve ser realizada com visão do modelo circular.

Seis das vinte e seis práticas estão na categoria de Tecnologia, foram nove práticas apresentadas nos questionários, das seis práticas resultantes, duas estão ligadas a utilização de tecnologias para indicadores de ciclo de vida e manutenções, porém a prática com maior avaliação está relacionada com a utilização de tecnologia para monitoramento da velocidade e direção do vento e previsibilidade da incidência do sol, a fim fornecer dados mais precisos no projeto de construção e expansão, evitando construção e utilização de matérias-primas com risco de erro ou desapropriação, causando impacto ambiental e aumento de resíduo.

4.6. Resultados das questões abertas

As questões abertas foram opcionais para os especialistas responderem se acreditavam haver alguma outra prática relacionada que não houvesse sido contemplada nas práticas apresentadas. As questões foram adicionadas com o objetivo de auxiliar no entendimento a visão e experiência dos especialistas de quais práticas poderiam ser consideradas para o framework. Foi possível verificar pelas respostas que as práticas do framework retiradas da literatura possuem relação com a experiência prática deles.

No total foram 13 respostas abertas, 5 na categoria de cadeia de suprimentos e valor, 3 na categoria de 4Rs, 4 na categoria Política, Ciência e Academia e 1 na categoria de Tecnologia.

Categoria	Resposta
Cadeia de Suprimentos e Valor	Importante que o sistema de logística reversa já estivesse no contrato do fabricante, para garantir a destinação correta quando necessário.
	Revisão do processo produtivo determinando que uma porcentagem do equipamento eólico ou solar, seja passível de reutilização após sua vida útil.
	Implementação de políticas nas empresas geradoras e maior cobrança para que a Engenharia e Design de Projetos tenha foco na economia circular
	Avaliação técnica de fornecedores que apresentem melhores soluções de economia circular e possam garantir uma pontuação maior na decisão do fornecedor ganhador de cada processo de compras.
	Criação de Programa de Formação de compradores e fornecedores para busca de melhores soluções (equipamento e dispositivos recicláveis e que causem menor impacto ambiental na fabricação, operação e descomissionamento).
4Rs	Reparo e Manutenção: Em vez de descartar um equipamento quebrado, considere repará-lo. Isso pode envolver a substituição de peças defeituosas ou a restauração do funcionamento original. Doações e Venda: Se o equipamento ainda estiver funcional, você pode doá-lo para instituições de caridade, escolas ou outras organizações. Além disso, a venda de equipamentos usados é uma maneira de garantir que eles continuem sendo úteis. Criatividade e Inovação: Pensar em maneiras criativas de reutilizar equipamentos não recicláveis. Por exemplo, pneus velhos podem ser transformados em móveis ou vasos de plantas. <i>Upcycling</i>: O <i>upcycling</i> envolve transformar materiais descartados em produtos de maior valor. Por exemplo, garrafas de vidro podem se tornar luminárias ou vasos. Reutilização Industrial: Em setores industriais, equipamentos não recicláveis podem ser reutilizados para outros fins, como armazenamento ou transporte.
	Aumentar a penetração da geração distribuída ou <i>roof top</i> em residências utilizando módulos solares em final de vida útil
	Em relação a indicadores de Sustentabilidade seria importante análise de métricas relacionadas a sustentabilidade e a circularidade da economia para o Conselho de Administração das organizações.
	Analisar a produtividade de ativos antigos que não estiverem em boas condições, desmobilizar e reutilizar a área já impactada para instalação de tecnologia mais recente (p.ex. repotenciação de eólicas localizadas em área com alto potencial de vento, mas máquinas de baixa geração). Evitando assim impactar a biodiversidade de novas áreas
Política, Ciência e Academia	Desenvolver pesquisa aplicada em parcerias com empresas, a fim de medir na prática as ideias e alternativas para reciclagem de equipamentos.
	Oportunidade de estágio/ vaga de trainee para alunos que desenvolverem melhores projetos. "Concurso de talentos" talvez.
	Incluir grandes indústrias nas parcerias.
	Creio ser importante utilizar estas parcerias para capacitar comunidade do entorno para geração de trabalho e renda a partir dos equipamentos passíveis de reutilização

Quadro 10 – Resultados das respostas abertas do questionário

Na categoria de Cadeia de Suprimentos e Valor, os especialistas relataram a importância da logística reversa, revisão do processo produtivo e avaliação técnica dos fornecedores que possuem práticas circulares. Estas práticas são consonantes com as práticas “CSV5 - Formalizar em contrato, com os fornecedores de equipamentos de geração, a participação e auxílio nos custos de reciclagem dos equipamentos (pg. 69)” e com a “CSV4 - Desenvolver um sistema de logística reserva em conjunto com fabricantes (pg. 69)” que foram apontadas pelo Fuzzy Delphi, e que reforçam a percepção dos especialistas sobre a importância de uma parceria e análise de fornecedores com o direcionamento mais sustentável e circular. A outra resposta aberta em Cadeia de Suprimentos e Valor se refere a criação de programa de formação de compradores e fornecedores para busca de soluções mais circulares, esta prática não foi apontada pelo Fuzzy Delphi, porém a prática “CSV7 - Criar programa para formação de agentes de reciclagem (pg. 70)” também cita a importância da formação dos atores do processo tanto fornecedores, quanto compradores e parceiros de reciclagem.

Na categoria dos 4Rs (Reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar), o destaque nas respostas abertas foi em “recuperação”, “descarte”, “restauração”, que são ações relacionadas ao fim do ciclo de vida dos equipamentos e ativos antigos. Um dos especialistas enfatizou reparo e manutenção, doações e venda, criatividade e inovação, upcycling e reutilização industrial como ações que somadas auxiliam na transição para o modelo circular e mitigam o impacto das geradoras centralizadas no meio ambiente. Essas respostas expressam a percepção de que ações para o fim de vida útil e descomissionamento promovem maior circularidade nas operações.

Por fim, houve quatro respostas abertas na categoria de Política, Academia e Ciência. Três dos especialistas destacaram a importância das parcerias com a comunidade e com grandes empresas para criar práticas de reciclagem e recuperação. Houve uma resposta aberta na categoria de Tecnologia, porém no reagrupamento a autora identificou que a resposta estava mais relacionada aos 4Rs.

4.7. Discussões

Nos resultados das buscas realizadas na literatura durante a fase teórica desse trabalho para formulação do framework foi possível observar que os estudos sobre geração de energia renovável e EC estavam mais direcionados para fontes eólicas e solares (KHALID et al. 2023; NAG et al. 2022). Não foram encontrados trabalhos que tratavam sobre a fonte hidrelétrica. No aspecto da EC, as geradoras centralizadas por fonte hidrelétrica possuem impactos ambientais e sociais em sua operação, sobretudo relacionado aos resíduos sólidos gerados (DUPIM e LANGE, 2019). Além disso, em construção e operação de hidrelétricas são causados outros impactos, como alagamento da área, alteração no microclima e deslocamento das populações ribeirinhas (NAIME, 2012). Este tema do impacto das usinas hidrelétricas no contexto ambiental e social tem sido amplamente abordado na literatura (MORAN, 2018; DUPIN e LANGE, 2019; CUSTÓDIO et al., 2022; ALISSON, 2018), o que reforça o aspecto negativo sobre a quantidade de resíduo gerado por estas geradoras. Neste contexto, Moran et al. (2018) destacaram que na busca por energia verde não se é considerado que os materiais destas usinas têm fim de vida útil em torno de 30 anos, que pode ser estendida com reformas ou turbinas novas. No entanto, o envelhecimento dos materiais da construção pode ocasionar o acúmulo de sedimentos nas represas.

Outro aspecto importante notado na fase teórica desta pesquisa foi a busca por práticas nos relatórios de sustentabilidade corporativa, no qual as empresas apresentaram um somatório de 29 citações da palavra “economia circular”, no entanto, nenhuma apresentou práticas, somente metas e projetos futuros. Este resultado corrobora com a pesquisa sobre economia circular realizada pela Conferência Nacional das Indústria (CNI, 2020) que identificou que grande parte das empresas brasileiras não possuem conhecimento sobre o tema da EC e sobre a abrangência das práticas, enquanto algumas empresas já adotam práticas relacionadas a EC, mas não conseguem associá-las ao tema. Outro ponto observado foi que as ações, projetos e práticas das empresas estavam mais relacionadas com reciclagem e gestão de resíduos. Este fato também está relacionado com a limitação do conhecimento da EC, uma vez que a gestão de resíduos abrange uma mudança mais ampla nos modelos de negócio (RODRIGUES, 2024). O estudo da CNI (2020), também identificou que as primeiras palavras que os entrevistados destacavam quando perguntados sobre a economia circular, foram “reciclagem” e “reutilização”. Não foram encontrados estudos mais atuais como o da CNI (2020) para checar se houve mudança nas iniciativas ou conhecimento das empresas com relação a EC.

As práticas de EC passíveis de adoção em geradoras de energia centralizada, segundo a

literatura e relatórios de sustentabilidade corporativo foram integradas e tiveram seu conteúdo analisado por 14 especialistas, que mediante a aplicação de questionário puderam responder e classificar as práticas de acordo com a importância entendida. Além disso, os respondentes puderam também adicionar respostas ao questionário no campo de questões abertas, que foi disponibilizado para que fosse possível identificar mais práticas de acordo com a experiência dos especialistas.

Sobre as quatro categorias da EC que formaram o framework conceitual notou-se predominância das práticas na categoria dos 4Rs (Reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar). As práticas desta categoria também foram as mais avaliadas como importante/muito importante na visão dos especialistas, sendo que das cinco práticas com maior aceitação, três são desta categoria; sendo duas relacionadas com a destinação e reutilização de equipamentos e matérias de painéis fotovoltaicos e pás eólicas. Também houve consenso entre os especialistas nas respostas abertas sobre a importância de ações de reutilização de equipamentos solares e eólicos para aumento do ciclo de vida dos ativos e diminuição do impacto ambiental proveniente dos resíduos. A literatura também tem apresentado estudos sobre práticas do modelo circular em conjunto com ações de extensão de vida útil (SICA et al. 2022; SALIM et al. 2019). Por exemplo, de acordo com Muniz (2024) a reforma de um transformador de energia, considerando especificamente o reaproveitamento do tanque e do núcleo magnético, representa algo em torno de 45% e 75% do valor de um equipamento novo.

Esta percepção dos especialistas também é apontada por Mello et al. (2022) e Salim et al. (2019) que destacam o desafio e impactos do fim de vida de equipamentos eólicos e solares. Mello et al. (2022) analisaram que a extração de matérias-primas, instalação e descomissionamento de equipamentos eólicos envolvem impactos consideráveis e que ações de fim de vida, como descomissionamento, reforma e repotenciação podem mitigar os impactos ambientais. Salim et al (2019) destacaram que os painéis fotovoltaicos contêm materiais que são considerados valiosos como rutênio, gálio, índio e telúrio que valem a pena ser recuperados e gerenciados no fim da vida útil com reforma, reutilização ou reciclagem para mitigar impactos ambientais e evitar a escassez de materiais críticos.

A terceira prática da categoria dos 4Rs mais bem avaliada pelos especialistas é sobre a reutilização de água (sistemas de captação de água de chuva e de tratamento de água para reuso). De acordo com Silva et al. (2023) a EC voltada para a água de reuso surge como uma alternativa à demanda por água e aumento das secas; ao ser tratada a água de reuso pode ser reutilizada para diversos fins não potáveis, diminuindo o volume de água retirada de rios. Considerando a importância da água para a EC, a literatura também relata exemplos de projetos que tratam da

reutilização de água da chuva. Cavalcante et al. (2016) modelaram um protótipo de tecnologia destinado à limpeza de painéis fotovoltaicos que reaproveita água da chuva que foi tratada com filtro para purificação sendo reutilizada para a limpeza dos módulos. Segundo os autores, além da questão sustentável, em relação aos custos o protótipo ficou seis vezes mais barato se comparado a outros sistemas de limpeza. Mendonça (2021) também analisou a utilização de água da chuva para limpeza de painéis solares e identificou que se levada em consideração a vida útil dos painéis solares (entre 25 e 30 anos), a operação de alguns parques consome um valor muito alto de água - 238.500 m³, e que reservatórios de captação de água da chuva são uma alternativa eficiente para diminuir o impacto do uso da água em plantas fotovoltaicas.

Algumas empresas geradoras centralizadas têm criado projetos sociais que podem ser utilizados por outras empresas. A Iberdrola, uma multinacional geradora centralizada com fontes hídrica, eólica e solar, possui um projeto de colaboração em parceria com uma empresa que fornece serviços municipais e gerenciamento integrado de resíduos para promover a reciclagem em escala industrial de painéis fotovoltaicos e de pás de turbinas eólicas. O objetivo principal das empresas é conseguir uma circularidade completa dos diferentes materiais que compõem a geração de energia e desenvolver tecnologias de recuperação inovadoras para cada um dos principais componentes dos painéis fotovoltaicos, especialmente o silício (IBERDROLA, 2024). Este exemplo, corrobora com as práticas destacadas pelos especialistas e mostra a importância de se incluir parceiros no fluxo, criando um ciclo fechado.

Sobre Cadeia de Suprimentos e Valor, os especialistas avaliaram como mais importante das práticas aquela que trata sobre a formalização em contrato com os fornecedores na participação no processo de custo e de reciclagem dos equipamentos. Outras práticas também eleitas como importantes foram a criação de parcerias e de uma rede de informação entre os produtores e os recicladores, além da aplicação do modelo circular na gestão de compras e de fornecedores. As respostas abertas dos especialistas também foram direcionadas para criação de programa de formação de compradores e melhor avaliação técnica dos fornecedores. Nota-se que os especialistas, principalmente os Analistas de Suprimentos Sustentáveis, enxergam maior importância nas práticas em que os fornecedores e compradores estejam envolvidos tanto em conhecimento como contratualmente. No contexto da EC estas práticas são relevantes uma vez que as interações entre fornecedores e compradores resultam em maior confiança entre as partes e pode alavancar a vantagem competitiva de forma sustentável (CARVALHO e OLIVEIRA, 2023).

Ainda em Cadeia de Suprimentos e Valor, tanto no questionário, quanto nas respostas abertas os especialistas entenderam importante as práticas de logística reserva. As práticas

consideram a inclusão de cláusulas contratuais com atividades de logística reserva, principalmente para fornecedores de painéis solares. A logística reserva é uma alternativa para geradoras centralizadas de energia. No entanto, as barreiras devem ser consideradas pelas empresas, como falta de incentivos econômicos, leis e regulamentos e disponibilidade de parceiros especializados no setor, barreiras estas que podem aumentar o custo para empresa e fornecedor (RICCI et al. 2022). Alguns autores também reforçaram o papel da logística reserva no ciclo de vida da geração de energia. Nag et al. (2022) destacaram que os esforços para extensão do ciclo de vida de equipamentos de turbinas eólicas, está relacionado com alguns fatores, incluindo a logística reversa e a contratação de fornecedores com enfoque para serviços de engenharia que gerem valor circular para os clientes geradores. Amir et al. (2022), salientaram que alguns mecanismos são passos necessários para adoção de uma Cadeia de Suprimentos e Valor circular, como estratégia de coleta de equipamentos, integração da cadeia de abastecimento direta e reserva, programas de recompra e coordenação da Cadeia de Suprimentos e Valor em termos de incentivos e contratos.

Sobre Política, Ciência e Academia, as duas práticas foram aceitas pelos especialistas e houve mais quatro respostas abertas. Tanto as práticas aceitas no método Fuzzy Delphi, quanto as abertas estão diretamente ligadas com a criação de parcerias com centros de inovação e universidades para criação de alternativas tecnológicas e de produtos mais circulares, além da expansão do conhecimento sobre a EC para alunos com programas de estágios e trainee. A literatura atual apresenta alguns exemplos práticos destas parcerias que podem ser adotadas por geradoras de energia. A Escola de Administração de Empresas de São Paulo (FGV EAESP, 2024), por exemplo, se reuniu com diversas empresas de tipos de negócios diferentes e com universidades para desenvolver um projeto em que governo, instituições de pesquisa, universidades e empresas trabalhem juntos com o objetivo de solucionar problemas através do modelo circular e criar inovação. As empresas colaboram com investimento, equipe, dados técnicos e experiências anteriores e as universidades com conhecimento.

Já a respeito de política, a literatura não apresenta estudos direcionados especificamente para geradoras de energia renovável. No entanto, alguns autores destacaram sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2022), e sobre o Acordo Setorial de Eletroeletrônicos que é um processo de implementação de logística reversa pelos fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes dos produtos e embalagens referidos no art. 18 do Decreto nº 7.404/2010 e que já considera painéis fotovoltaicos como sendo um produto eletrônico (BRASIL, 2024). No entanto, ainda existem desafios e barreiras para que o setor de geração de energia renovável se

beneficie com as políticas apresentadas, volume de coleta necessário de resíduos para alcançar lucratividade do negócio; custos financeiros, distância elevada das usinas de geração até os centros de reciclagem, são alguns exemplos (PESSOA et al. 2022). Além destes pontos, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2024) destaca que a dispersão dos agentes envolvidos, a carência e deficiência da infraestrutura para reciclagem e a gestão do ciclo de vida tornam difícil estimar a quantidade de resíduos gerados e a melhora do sistema como um todo.

Na categoria de tecnologia foram aceitas seis práticas pelos especialistas, das nove práticas dispostas no framework teórico. As práticas aceitas no método Fuzzy Delphi se referem à utilização de big data e Iot para gestão de manutenção, utilização de tecnologias para o planejamento de localização de terras e monitoramento do vento e sol, e utilização blockchain para rastreamento de falhas em equipamentos de geração. Um ponto relevante a se destacar sobre a categoria de tecnologia foi o aparente desconhecimento por parte dos especialistas do potencial das tecnologias para adoção da EC. Nas respostas abertas, por exemplo, houve uma única resposta na categoria de tecnologia, contudo no reagrupamento e análise identificou-se que a resposta estava mais relacionada aos 4Rs, por se tratar de indicadores de sustentabilidade, e os indicadores para sustentabilidade corporativa do setor energético estão relacionados com medições de percentagem dos materiais usados provenientes de reciclagem, percentual e volume total de água reciclada e reutilizada, total de investimentos e gastos em proteção ambiental (NETO e CANDIDO, 2020).

Com relação ao blockchain citado nas práticas aceitas pelos especialistas, a literatura tem abordado que novos modelos de negócios no setor de geração solar podem ser criados por meio de blockchain, em modelo circular, para permitir energia mais acessível e barata com recursos de automação, contratos inteligentes, visibilidade e rastreabilidade (EROL et al. 2021). Referente à utilização de big data e Iot, Ingemarsdotter et al. (2020) destacaram que a servitização no setor de operação e manutenção de geração de energia renovável podem fortalecer e mudar o relacionamento entre fabricantes e geradoras por meio da utilização de tecnologias de monitoramento da condição do equipamento com prognósticos habilitados por sensores, além de sistemas inteligentes de coleta e gerenciamento de dados históricos para melhoria contínua do design dos produtos, aumentando a qualidade do serviço e diminuindo a venda e consequente produção em excesso de novos equipamentos. Estes exemplos da literatura mostram que existem tecnologias que podem ser adotadas por geradoras de energia renovável, e que a parceria com fornecedores pode aumentar o leque de oportunidades de acesso a diferentes tipos de tecnologias e modelos de negócios circulares com enfoque em tecnologia (MENDOZA et al. 2022).

Após os resultados teóricos levantados e a priorização por meio do Fuzzy Delphi, a nova disposição visual do framework apresenta as cinco categorias com as práticas de forma mais sucinta, criadas após o reagrupamento (Figura 8). Os resultados mostraram que a adoção de iniciativas da EC pode ser implementada de forma progressiva, conforme o setor de negócio, atuação e estágio de maturidade. Entende-se então, que esse framework pode ser útil para orientar especialmente as geradoras centralizadas de energia renovável, a utilizar práticas circulares em suas operações.

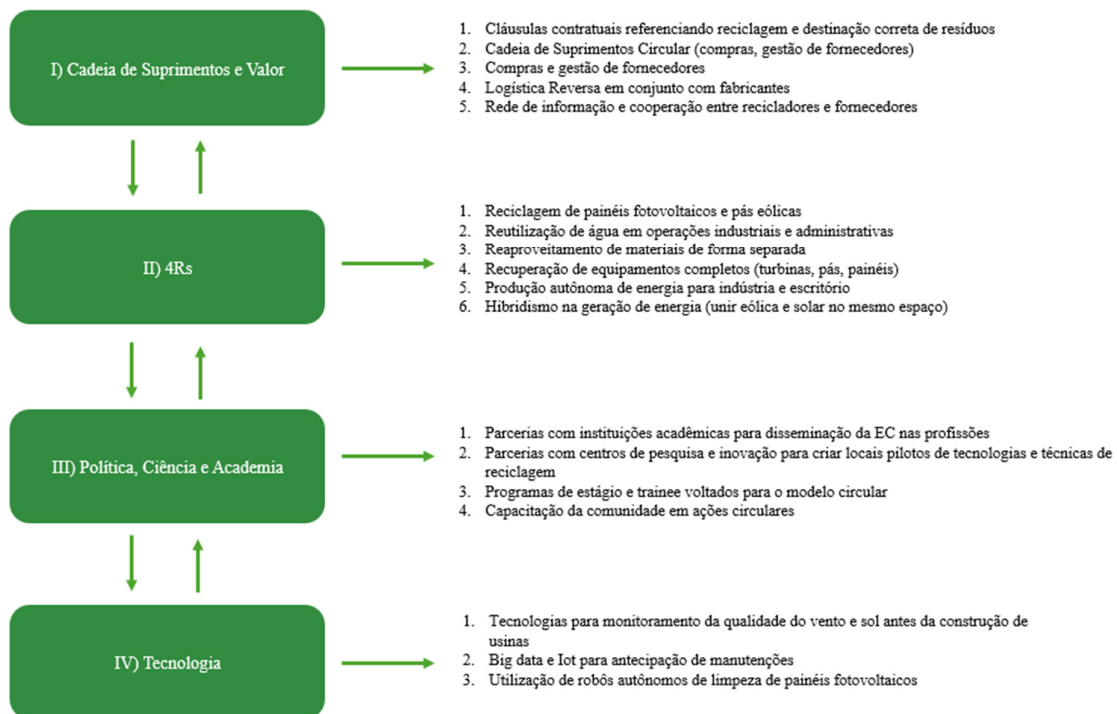


Figura 9 – Framework Conceitual de práticas da EC em geradoras centralizadas de energia renovável. Fonte: Elaborado pelo autor.

5. Conclusões

Essa dissertação de mestrado partiu da seguinte questão de pesquisa: Quais práticas da economia circular podem ser adotadas por geradoras centralizadas de energia renovável? Para responder essa questão foi levantado na literatura práticas de gestão associadas a EC que são passíveis de adoção em geradoras centralizadas. As práticas foram categorizadas em quatro principais categorias: cadeia de suprimentos, 4R, política, ciência e academia e tecnologia, e depois de propostas em termos de framework teórico foram priorizadas mediante a aplicação do método Fuzzy Delphi via respostas obtidas no questionário por especialistas das áreas de sustentabilidade, meio ambiente e energia renovável.

Dessa forma, esse trabalho contribui com a literatura de áreas como EC, sustentabilidade ao propor um framework conceitual original, o qual visa atender um gap na área que tem sugerido a necessidade de se considerar a integração de princípios em todas as fases do ciclo de vida de geradoras centralizadas de energia renovável.

Como apresentado nos capítulos de resultados e discussão as principais práticas identificadas estão na categoria de Cadeia de Suprimentos e Valor, que tratam sobre a formalização em contrato com os fornecedores na participação do processo dos custos de reciclagem dos equipamentos de geração, criação de parcerias e de uma rede de informação entre os produtores e os recicladores, além da aplicação do modelo circular na gestão de compras e de fornecedores. Na categoria de 4R as seguintes práticas tiveram destaque: destinação de forma adequada de placas fotovoltaicas substituídas, as quais permitem a transformação em três componentes principais: vidro, cabos de cobre e metais; reutilização de água em sistemas de captação de água da chuva e tratamento para reuso; e o aumento da quantidade de reciclagem de materiais relacionados as pás eólicas.

Entende-se que como implicações gerenciais, os resultados desta pesquisa possuem potencial para contribuir para que gestores de geradoras centralizadas possam iniciar um planejamento para inclusão do modelo circular em suas operações, e até mesmo identificar e direcionar no contexto do modelo circular as ações que já são realizadas. Por exemplo, ao aplicar o framework aqui proposto ou mesmo práticas específicas identificadas, tais como a utilização de tecnologias, big data, Iot, para antecipação de manutenções, pode orientar empresas a evitarem a utilização de grandes quantidades de materiais, transporte e energia para o atendimento de manutenções inesperadas. Parcerias com instituições acadêmicas, centros de inovação e produtores para criar e estabelecer locais pilotos e infraestruturas conjuntas que

forneçam tecnologias e técnicas eficientes para a reciclagem, também é prática que pode conduzir as empresas em ações sociais, considerando os colaboradores, os fornecedores e a comunidade local.

Implicações políticas também que podem ser analisadas. No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), publicou a Política de Governança Sustentável e Responsabilidade Socioambiental - Política ESG da Agência por meio da Portaria nº 6.912, de 9 de dezembro de 2024, com objetivo de atuar em iniciativas ESG como coleta seletiva, capacitação sobre compras sustentáveis, letramento em diversidade, equidade e inclusão de minorias e avaliação da maturidade em ESG. No entanto, não foram abordados temas e conceitos da EC. Existe então, uma oportunidade de análise do órgão regulador na criação de políticas e programas que direcionem as ações no modelo circular para o sistema de energia elétrico brasileiro. Da mesma forma, políticas que contemplem o conhecimento e a responsabilização das empresas em atuar no modelo circular para mitigar os impactos de suas operações.

Profissionais de geradoras de energia não-renováveis e geradoras distribuídas também podem se beneficiar dos resultados encontrados neste trabalho. A geração de energia não renovável que possui impactos negativos em suas operações, podem incluir práticas que promovam eficiência com uso de tecnologias, de blockchain para rastrear falhas e indicadores de ciclo de vida de equipamentos utilizados em turbinas e máquinas. No caso das geradoras distribuídas de energia solar, por serem mais próximas da rede de distribuição e dos consumidores, podem se beneficiar de práticas da categoria 4R, como logística reserva, reaproveitamento de resíduos e de placas solares em fase de descomissionamento, e a destinação de forma adequada de placas fotovoltaicas substituídas.

Esse trabalho possui limitações que devem ser reconhecidas. Primeiramente, o framework desenvolvido e proposto é conceitual e não houve a sua aplicação em empresas. Nesse sentido, também, as palavras-chaves utilizadas para as buscas, a utilização apenas do Scopus como banco de dados utilizados, os critérios de seleção e a interpretação dos artigos também são elementos que devem ser considerados como limitações dessa pesquisa.

Assim, como oportunidades de pesquisas futuras propõe-se que o framework aqui proposto seja melhorado por meio da atualização da revisão sistemática. Além disso, seria desejável que ele fosse testado e investigado mediante o método de pesquisa ação. A inclusão de temas emergentes a utilização da inteligência artificial no contexto da EC e da energia renovável também seria bem-vindo para a exploração das interfaces entre EC e energia renovável. Por fim, uma proposta de pesquisa futura é que seja feita uma avaliação da

circularidade nas empresas que compõe a cadeia de energia (geração, transmissão, distribuição). Desta forma as atividades que conectam as empresas em cada ciclo poderiam ser investigadas considerando a aplicação de práticas de EC em toda a cadeia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASI, A., Kamal, M.M., 2020. Adopting industry 4.0 technologies in citizens' electronic engagement considering sustainability development. **Lecture Notes in Business Information Processing** **381 LNBIP 304–313**. doi: 10.1007/ 978- 3-030- 44322- 1 _ 23.
- ABBEÓLICA. 2023. Prática Circular: Energia solar e eólica entram na rota da reciclagem. Disponível em: < <https://abeeolica.org.br/pratica-circular-energia-solar-e-eolica-entram-na-rota-da-reciclagem/>>. Acesso em 19 de ago. 2024.
- AES BRASIL. 2022. Relatório de sustentabilidade. <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/691c9da5-45e0-458f-a3da-41982b1730fc/7587ed32-4f2d-914a-89cf-1c0876851555?origin=1>. Acesso em: 18 de dez 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. Resolução Normativa RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 875, DE 10 DE MARÇO DE 2020. 2020. Disponível em: < <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020875.html>>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. 2025. Conheça as ações em ESG (do inglês Environmental, Social and Governance) da ANEEL. Disponível em: [https://www.gov.br/aneel/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/esg#:~:text=A%20Pol%C3%ADtica%20de%20Governan%C3%A7a%20Sustent%C3%A1vel%20e%20Responsabilidade%20Socioambiental%20da%20ANEEL,em%20Servi%C3%A7os%20P%C3%ABlicos%20\(MGI\)](https://www.gov.br/aneel/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/esg#:~:text=A%20Pol%C3%ADtica%20de%20Governan%C3%A7a%20Sustent%C3%A1vel%20e%20Responsabilidade%20Socioambiental%20da%20ANEEL,em%20Servi%C3%A7os%20P%C3%ABlicos%20(MGI).).
- Acesso em 11 de abr. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. Resolução Normativa n.º 482. Disponível em: < <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>
- ALVES et al. 2021. Economia Circular e Energias Renováveis: uma análise bibliométrica da literatura internacional. **INTERAÇÕES**, Campo Grande, MS, v. 23. DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v23i2.3034>
- ALHAWARI et al. 2020. Insights from Circular Economy Literature: A Review of Extant Definitions and Unravelling Paths to Future. **Research. Sustainability** 2021, 13(2), 859. <https://doi.org/10.3390/su13020859>
- ALLWOOD, J.M., et al., 2011. Material efficiency: a white paper resources. **Conserv. Recycling** **55 (3)**, 362–381.
- ALMEIDA. C. G. Estudo comparativo dos indicadores existentes de Economia Circular com perspectivas à criação de uma ferramenta de monitorização aplicada à realidade nacional portuguesa. **Faculdade de Economia Universidade do Porto**.
- ALISSON. E. 2018. Custos sociais e ambientais de usinas hidrelétricas são subestimados, aponta estudo. **Jornal da Unicamp**.

Disponível em: <https://unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2018/11/07/custos-sociais-e-ambientais-de-usinas-hidreletricas-sao-subestimados-aponta/>. Acesso em: 06 de out. 2024

AMIR, S. et al. 2022. Towards circular economy: A guiding framework for circular supply chain implementation. **Business Strategy and The Environment**. <https://doi.org/10.1002/bse.3264>

ASKIN, A. et al. 2023. Recycling photovoltaic modules within a circular economy approach and a snapshot for Türkiye. *Renewable Energy* 208 (2023) 583–596. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.03.035>

ASLAN, Et al. 2024. Effect of economic policy uncertainty on CO2 with the discrimination of renewable and non renewable energy consumption. **Energy Volume 291, 15 March 2024, 130382**. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130382>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PCHS E CGHS. ABRAPCH. O que são PCH's e CGH's. 2023. Disponível em: <https://abrapch.org.br/o-setor/o-que-sao-pchs-e-cghs/>

AVELINO L. P. Energia Solar Fotovoltaica Centralizada e Distribuída: o caso do Brasil. **Economia e Gestão do Meio Ambiente**. Universidade do Porto, 2020.

ANNIBAL, A. Importância dos pilares ESG na estratégia empresarial. **Gestão Estratégica e Sustentabilidade Empresarial**. 2022. Disponível em < <https://professorannibal.com.br/2022/05/24/importancia-dos-pilares-esg-na-estrategia-empresarial/>>. Acesso em: 02 Nov. 2023.

AMIR et al. 2022. Towards circular economy: A guiding framework for circular supply chain implementation. **Business Strategy and the Environment**. <https://doi.org/10.1002/bse.3264>

ARANDA-USÓN et al. 2019. The progressive adoption of a circular economy by businesses for cleaner production: An approach from a regional study in Spain. **Journal of Cleaner Production**. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119648>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. ABRAADE. Visão Geral do Setor. Disponível em: < <https://abradee.org.br/visao-geral-do-setor/>>. Acesso em: 02 Nov. 2023.

AYDIN, M. Renewable and non-renewable electricity consumption–economic growth nexus: Evidence from OECD countries. **Renewable Energy 2019, 136, 599–606. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.008>**

BAG, S. and Rahman, M.S. (2023), "The role of capabilities in shaping sustainable supply chain flexibility and enhancing circular economy-target performance: an

empirical study", **Supply Chain Management**, Vol. 28 No. 1, pp. 162-178. <https://doi.org/10.1108/SCM-05-2021-0246>

BASILE V., CAPOBIANCO N., VONA R. 2021. The usefulness of sustainable business models: Analysis from oil and gas industry. **Corporate Social Responsibility Environmental Management** .2021;28:1801–1821. DOI: 10.1002/csr.2153

BATTSSACCO. V. E. Motivações, barreiras e fatores críticos de sucesso para implementação do DDMRP: Um estudo exploratório pelo método Fuzzy Delphi. **Universidade Federal de São Carlos. 2021.**

BERTASSINI et al. 2019. Comparando cadeia de suprimentos tradicional. **XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. ENEGEP 2019.**

BHATTARAI et al. 2022. Assay of renewable energy transition: A systematic literature review. **Science of the Total Environment** 833 (2022) 155159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155159>

BONESS. L. B. Uma análise da Economia Circular no segmento de skin care da indústria de cosméticos brasileira. **Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2023.**

BOROWSKI. Piotr F. Production Processes Related to Conventional and Renewable Energy in Enterprises and in the Circular Economy. **Processes** 2022, 10, 521. <https://doi.org/10.3390/pr10030521>

BRASIL, 2022. **Decreto nº 10.936 de 12 de janeiro de 2022.** Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Presidência da República, Secretaria-Geral, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF, 12 de janeiro de 2022.

BRASIL, 2024. DECRETO Nº 12.082, DE 27 DE JUNHO DE 2024. Estratégia Nacional de Economia Circular.

BRASIL, 2024. Logística Reversa. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: < <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/log%C3%ADstica-reversa.html>>. Acesso em: 09 de out. 2024

BRESSANELLI et al. 2018. Exploring How Usage-Focused Business Models Enable Circular Economy through Digital Technologies. **Sustainability** 2018, 10, 639; doi:10.3390/su10030639

BRUNDAGE M, B. W, H. S et al. 2018. Analyzing environmental sustainability methods for use earlier in the product lifecycle. **Journal of Cleaner Production.** DOI 10.1016/j.jclepro.2018.03.187

BUCHMANN-DUCK J, BEAZLEY K. F. An urgent call for circular economy

advocates to acknowledge its limitations in conserving biodiversity. 2020. **Science of the Total Environment** **727** (2020) **138602**.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138602>

BUI, Tat Dat et al. Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. **Resources, conservation and recycling**, v. **154**, p. **104625**, 2020.

BURKE H. et al (2023) Integrating product design and supply chain management for a circular economy, **Production Planning & Control**, **34:11**, **1097-1113**, DOI: 10.1080/09537287.2021.1983063.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1983063>

CAMPOS. Claudinei José Gomes. Método de análise de conteúdo: ferramenta para a análise de dados qualitativos no campo da saúde. Rev. Bras. Enferm. 57 (5). Out 2004.
<https://doi.org/10.1590/S0034-71672004000500019>

CARVALHO. N. P. OLIVEIRA. M. T. T. 2023. O Relacionamento entre Compradores e Fornecedores: Estudo de caso de uma Indústria Multinacional Brasileira do segmento Médico-Odontológico. **Universidade Federal de Uberlândia**.

Disponível em:

<chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/39484/1/RelacionamentoEntreCompradores.pdf>. Acesso em 07 de out. 2024.

CAVALCANTE et al. 2016. Protótipo de um sistema automatizado para higienização de painéis solares planos agrupados a um sistema de reaproveitamento de água. Anais do V SINGEP – **Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade** – São Paulo – SP – Brasil – 20, 21 e 22/11/2016.

CERQUEIRA. R.C. 2024. Quais são os principais indicadores de sustentabilidade nas empresas? Disponível em: <https://rochacerqueira.com.br/indicadores-de-sustentabilidade/>

Acesso em: 04 Ago. 2024.

CEBDS. 2024. Visão 2050. Planejando o Brasil pós-pandemia. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cebds.org/wpcontent/uploads/2021/03/Visao-2050_CEBDS.pdf>. Acesso em 19 de ago. 2024.

CESTEB. 2017. Cetesb consegue reduzir 76% do consumo de água na sede da companhia

Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/blog/2017/03/23/cetesb-consegue-reduzir-76-do-consumo-de-agua-na-sede-da-companhia/> Acesso em 19 de ago. 2024.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). 2024. Reciclagem e reuso de equipamentos eletroeletrônicos.

CEMIG. 2022. Relatório anual de sustentabilidade. <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2023/06/ras-2022.pdf>. Acesso em: 18 de dez, 2024.

Confederação Nacional das Indústrias. CNI. 2018. EC, Oportunidades e Desafios para a Indústria Brasileira.

Confederação Nacional das Indústrias. CNI. 2020. Pesquisa sobre economia circular 2019.

Conselho de Consumidores da Enel Distribuição Ceará. CONERG. Geração de energia solar, conceitos e aplicações. **Sistema FIEC**. 2019.

COPEL. 2022. Relatório de Sustentabilidade.

Disponível em: <<https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/16a31b1b-5ecd-4214-a2e0-308a2393e330/dd4a61be-0720-be4d-8c1c-3a01d6000251?origin=1.>>>

Acesso em: 18 de dez, 2024.

COSAN. 2022. Relatório de Sustentabilidade.

Disponível em: <<https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/6aa68515-2422-4cc4-bafa-8870ccdfedb0/b6f2cad0-24b3-1f23-7bd6-20e58b636a83?origin=1.>>>.

Acesso em: 18 de dez, 2023.

CPFL. 2022. Relatório de Sustentabilidade.

Disponível em: <<https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/6aa68515-2422-4cc4-bafa-8870ccdfedb0/b6f2cad0-24b3-1f23-7bd6-20e58b636a83?origin=1.>>>.

Acesso em: 18 de dez, 2023.

CUSENZA. et al. 2019. Energy and environmental benefits of circular economy strategies: The case study of reusing used batteries from electric vehicles. **Journal of Energy Storage** 25. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100845>

CUSTÓDIO et al. 2022. Usinas Hidrelétricas e seus impactos ambientais. Anais da Exposição Anual de Tecnologia, Educação, Cultura, Ciências e Arte do Instituto Federal de São Paulo – Câmpus Guarulhos -v.2 2022

DALKEY. N; HELMER, O. An Experimental Application of the Delphi Method to the use of Experts management science. 1963.

DANTAS et al. How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. **Sustainable Production and Consumption** 26 (2021) 213–227. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005>

DAS et al. 2022. How do companies measure and forecast environmental impacts when experimenting with circular business models? **Sustainable Production and Consumption** 29. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.10.009>

DE LOS RIOS. I. C. Chanrley. F. J. S. 2016. Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The Changing role of design. **Journal of Cleaner Production**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.130>

DELLOITE. 2023. The 2030 decarbonization challenge. The path to the future of energy. Disponível em: < <https://www2.deloitte.com/xe/en/pages/energy-and-resources/articles/the-2030-decarbonization-challenge.html>>. Acesso em 01 abr. 2023.

DIAS et al. 2022. Possibilities for applying the circular economy in the aerospace industry: Practices, opportunities and challenges. **Journal of Air Transport Management** 102. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102227>

DIAS et al. 2022. High yield, low cost, environmentally friendly process to recycle silicon solar panels: Technical, economic and environmental feasibility assessment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 169. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112900>

DIEZ-CANAMERO AND MENDONZA 2023. Circular economy performance and carbon footprint of wind turbine blade waste management alternatives. **Waste Management**. Volume 164, 1 June 2023. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.041>

DROSOS. D., Kyriakopoulos, G.L, Ntanos, S., Parissi, A. (2021) School Managers Perceptions towards Energy Efficiency and Renewable Energy Sources. **Int. Journal of Renewable Energy Development**, 10(3), 573-584, doi: 10.14710/ijred.2021.36704

DUPIN P. C. LANGE. L. C. 2019. Resíduos sólidos de hidrelétricas: inventário e legislação ambiental aplicável ao estado de Minas Gerais. 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. **IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais**.

ELETOBRAS. 2022. Relatório Anual. Disponível em: https://eletrobras.com/pt/Documents/Eletobras_RA_2022.pdf. Acesso em: 18 de dez, 2023.

ELIGUEZEL I. M., OZCEYLAN E. A bibliometric, social network and clustering analysis for a comprehensive review on end-of-life wind turbines. 2022. **Journal of Cleaner Production** 380 (2022) 135004. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135004>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **EPE**. Empreendimentos eólicos ao fim da vida útil. Situação Atual e Alternativas Futuras. 2021. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-563/NT-EPE-DEE-012-2021.pdf>. Acesso em: 16 set. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **EPE**. Anuário Estatístico de Energia 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario>>

factsheet.pdf> Acesso em: 16 set. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **EPE**. Matriz Energética e Elétrica. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acesso em: 21 jul. 2024.

ENEVA. 2022. Relatório Integrado. Disponível em: < <https://eneva.com.br/wp-content/uploads/2023/06/Relato-Integrado-2022.pdf>> Acesso em: 19 de dez, 2023.

ENGIE BRASIL ENERGIA. 2022. Relatório de Sustentabilidade. Disponível em: <https://www.engie.com.br/wp-content/uploads/2023/12/Engie_RS-2022_v2.pdf> Acesso em: 19 de dez, 2023.

ERNST & YOUNG GLOBAL LIMITED. 2023. Água é cada vez mais recurso estratégico para governos e empresas. Disponível em: https://www.ey.com/pt_br/agencia-ey/noticias/agua-recurso-estrategico-governos-empresas Acesso em 19 de ago. 2024.

EROL et al. 2021. Towards a circular economy: Investigating the critical success factors for a blockchain-based solar photovoltaic energy ecosystem in Turkey. 2021. **Energy for Sustainable Development** 65 (2021) 130–143. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.10.004>

FELCAR. Felipe de Lima. Aplicação da Lógica *Fuzzy* na avaliação da confiabilidade humana em ensaios de análise vibracional. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. 2018.

FERNANDES, B. S. Reciclagem e logística reversa de placas fotovoltaicas. 2023. 198 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – **Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos**, 2016.

FGV EAESP. 2024. **Escola de Administração de Empresas de São Paulo**. Grandes Empresas e Instituições de pesquisa se unem em projeto de Economia Circular. Disponível em: < <https://eaesp.fgv.br/noticias/grandes-empresas-e-instituicoes-pesquisa-se-unem-projeto-economia-circular>> Acesso em 09 de out. 2024.

FINDIK et al. 2023. Industry 4.0 as an enabler of circular economy practices: Evidence from European SMEs. **Journal of Cleaner Production** 410. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137281>

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. We need to talk about renewables. 2023. Disponível em <<https://ellenmacarthurfoundation.org/articles/we-need-to-talk-about-renewables-part-1>>. Acesso em: 16 set. 2023.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Cinco benefícios de uma economia circular para alimentos. 2021.

Disponível em < <https://ellenmacarthurfoundation.org/pt/artigos/cinco-beneficios-de-uma-economia-circular>

paraalimentos#:~:text=Uma%20economia%20circular%20para%20alimentos%20poderia%20reduzir%20as%20emiss%C3%B5es%20de,toneladas%20de%20CO2%20at%C3%A9%202050.>. Acesso em: 04 set. 2023.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. The Circular Guide Design. 2018. Disponível em < <https://www.circulardesignguide.com/mindset>. Acesso em: 01 out. 2023.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. 2015.. Disponível em < <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition?sortBy=rel>>. Acesso em: 01 jan. 2024.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. 2023. Circular supply chains: the role of supply chain professionals in creating a circular economy. Disponível em:

<<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-supply-chains>>. >. Acesso em: 18 ago. 2024.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. 2023. Rumo a Economia Circular: O Racional de negócio para acelerar a transição.

FURUOKA. F. Renewable electricity consumption and economic development: New findings from the Baltic countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 71 (2017) 450–463. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.074>

Galarza-María. Et al. Social dimension of the circular economy: Impact categories through fuzzy Delphi method. **Sustainable Development**. 2024;1–12. DOI: 10.1002/sd.

GALLAGHER et al. 2017. Adapting Stand-Alone Renewable Energy Technologies for the Circular Economy through Eco-Design and Recycling. **Journal of Industry Ecology**. DOI: 10.1111/jiec.12703

GAZZOLA. et al. 2020. Trends in the Fashion Industry. The Perception of Sustainability and Circular Economy: A Gender/Generation Quantitative Approach. **Sustainability**. doi:10.3390/su12072809

GEDAM et al. 2021. Circular economy practices in a developing economy: Barriers to be defeated. **Journal of Cleaner Production** 311. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127670>

GEISSDOERFER, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J., 2017. The Circular Economy is a new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner**

Production 143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

GEISSDOERFER, M. et al. 2018. Business models and supply chains for the circular economy. **Journal of Cleaner Production** **190** (2018) 712e721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159>

GIELEN et al. 2019. The role of renewable energy in the global energy transformation. **Energy Strategies Reviews.** <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>

GIUDICE. M. D. et al. Supply chain management in the era of circular economy: the moderating effect of big data. 2020. **The International Journal of Logistics Management.** DOI 10.1108/IJLM-03-2020-011

GREGSON et al. 2015. Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU. *Econ. Soc.* 44,218e243 <https://doi.org/10.1080/03085147.2015.1013353>

GUNEY. T, 2020. Renewable energy and sustainable development: Evidence from OECD countries. **Environmental Progress & Sustainable Energy.** DOI: 10.1002/ep.13609

GUTBERLET, M. PREUSS, L. THORPE. A. S. 2023. Macro level matters: Advancing circular economy in different business systems within Europe. **Ecological Economics.** <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107858>

HABIBI, A.; JAHANTIGH, F. F.; SARAFRAZI, A. Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items. *Asian Journal of R*

HALL. R. TOPHAM. E. JOÃO. E. Environmental Impact Assessment for the decommissioning of offshore wind farms. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **165** (2022) 112580. 2022.

HEADING et al. 2021. Recursos para a transição energética: fazendo o mundo girar. As limitações geográficas e geopolíticas no fornecimento de recursos críticos para a transição energética exigem uma solução de EC. **KPMG.**

Hossen et al. 2024. Decentralized Energy Systems and the Circular Economy: Business Models for Sustainable Energy Transitions. **AIJMR Volume 2, Issue 6,** November-December 2024. DOI 10.62127/aijmr.2024.v02i06.1115

HU. H. TU. ZEKAI. CHEN. A. HUANG. J. Enterprises' globalization and ESG performance. **Finance Research Letters** 58 (2023) 104653.

HOLLANDER et al. 2017. Product Design in a Circular Economy. **Journal of Industrial Ecology.** DOI: 10.1111/jiec.12610

IBERDROLA. 2024. Iberdrola e FCC assinam acordo para promover a reciclagem

de painéis fotovoltaicos.

Disponível em: < <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacao/noticia/detalhe/iberdrola-e-fcc-assinam-acordo-para-reciclagem-industrial-de-paineis-fotovoltaicos>>. Acesso em 29 set. 2024.

IEA. International Energy Agency. 2024. World Energy Outlook 2024. Sumário Executivo.

Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e769950-8d27-49f1-bbd1-eb791de657cd/WEO2024_Executivesummary_BrazilianPortuguese.pdf. Acesso em 04 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DA NATUREZA. IBDN, 2023. Reciclagem de Painéis Fotovoltaicos. Disponível em: < <https://ibdn.org.br/reciclagem-de-paineis-solares/#o-ibdn>>. Acesso em 18 ago. 2024.

IOANNIDIS et al. 2023. Public awareness of renewable energy sources and Circular Economy in Greece. Renewable Energy 206 (2023) 1086–1096. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.084>

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. INEE. O que é geração distribuída? 2023. Disponível em: http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. IEA. 2023. Renewables 2023 Analysis and Forecast to 2028. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>> Acesso em 21 jul. 2024.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. IEA. 2023. Strong policy progress on energy efficiency seen in 2023, but meeting climate goals means moving faster. Disponível em: < <https://www.iea.org/news/strong-policy-progress-on-energy-efficiency-seen-in-2023-but-meeting-climate-goals-means-moving-faster>> Acesso em 21 jul. 2024.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. 2022. Sixth Assessment Report (AR6). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 01 out. de 2022.

INGEMARSDOTTER et al. Opportunities and challenges in IoT-enabled circular business model implementation – A case study. **Resources, Conservation & Recycling**. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105047>

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: < <https://www.ipea.gov.br/ods/ods7.html>>. Acesso em: 21 jul. de 2024.

IRENA. Agência Internacional de energia renovável. 2021. Perspectiva da

transição energética mundial. Caminho para -1,5 °C.

IRENA, Agência Internacional de energia renovável. 2022. Enabling Technologies Patents.

ISA CTEEP. 2022. Relatório de Sustentabilidade. Disponível em: <https://www.isaenergiabrasil.com.br/sustentabilidade/relatorios-de-sustentabilidade>. Acesso em: 19 de dez, 2023.

IRENA, Agência Internacional de energia renovável. 2022. Country Rankings.

JABBOUR et al. 2019. Circular business models and operational management. **Journal of Cleaner Production** 235. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.349>

JESUS. G. M. K. JUGEND. D. 2021. How can open innovation contribute to circular economy adoption? Insights from a literature review. **European Journal of Innovation Management**. <https://doi.org/10.1108/EJIM-01-2021-0022>

JESUS et al. 2021. Barriers to the adoption of the circular economy in the Brazilian sugarcane ethanol sector. **Clean Technologies and Environmental Policy**. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02129-5>

KAJAN, Ejub; STOIMENOV, Leonid. Toward an ontology-driven architectural framework for B2B. **Communications of the ACM**, v. 48, n. 12, p. 60-66, 2005.

KAHRAMAN, C. Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making: theory and applications with developments. Istanbul: **Springer Science Business Media, LLC**, 2008.

KALMYKOVA et al. Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools. 2018. **Resources, Conservation & Recycling** 135 (2018) 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>

KHALID et al. 2023. Recycling of wind turbine blades through modern recycling technologies: A road to zero waste. **Renewable Energy Focus**. Volume 44, March 2023, Pages 373-389. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.02.001>

KHAN AND ALIN. 2022. Implementation of the circular supply chain management in the pharmaceutical industry. **Environment, Development and Sustainability** 24:13705–13731. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02007-6>

KHAN et al. 2022. Digital technology and circular economy practices: future of supply chains. **Operations Management Research**. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00247-3>

KNABLE et al. 2022. The impact of the circular economy on sustainable development:

A European panel data approach. **Sustainable Production and Consumption** 34. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.016>

KIM. H. PARK. H. 2018. PV Waste Management at the Crossroads of Circular Economy and Energy Transition: The Case of South Korea. **Sustainability** 2018, 10, 3565. doi:10.3390/su10103565

KIRCHHERR et al. 2017. Conceptualizing the circular economy: analysis of 114 definitions. **Resour. Conserv. Recycl** 127, 221 e 232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

KIRCHHERR et al. 2023. Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, 194 (2023) 107001. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>

KIVIRANTA et al. 2020. Connecting circular economy and energy industry: A techno-economic study for the Åland Islands. **Applied Energy** 279. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115883>

KORNOHEN J. et al. Circular economy as an essentially contested concept. 2018. **Journal of Cleaner Production** 175 (2018) 544e552. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>

KORNOHEN et al. 2018. Circular Economy: The Concept and its Limitations. **Ecological Economics**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

KONZEN. B. A. D. V; PEREIRA. A. F. Ciclo de vida de painel fotovoltaico em cenário brasileiro. **Repositório da Universidade Federal de Minas Gerais**. 2020.

KONIETZKO, J.; BOCKEN, N.; HULTINK, E. A tool to analyze, ideate and develop circular innovation ecosystems. **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 417, 2020

KONIETZKO, J.; BOCKEN, N.; HULTINK, E. Circular ecosystem innovation: An initial set of principles. **Journal of Cleaner Production** 253 (2020) 119942. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119942>

KORHONEN, Jouni; NUUR, Cali; FELDMANN, Andreas; BIRKIE, Seyoum Eshetu. Circular economy as an essentially contested concept. **Journal of Cleaner Production**, (2018) 544-552.

KORNIEJENKO, K. et al. 2021. Tackling the Circular Economy Challenges—Composites Recycling: Used Tyres, Wind Turbine Blades, and Solar Panels. **J. Compos. Sci.** 2021, 5, 243. <https://doi.org/10.3390/jcs5090243>

KONZEN, B.A.D.; PEREIRA, A.F. Gestão de resíduo fotovoltaico: revisão bibliográfica sobre o cenário de fim de vida do sistema. 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1011>. Acesso em 01 Dez 2024.

KUO. Y-F. CHEN P-G. 2008. Constructing performance appraisal indicators for mobility of the service industries using Fuzzy Delphi Method. **Expert Systems**

with Applications 35 (2008) 1930–1939. doi:10.1016/j.eswa.2007.08.068

LAMBERT, D. M. et al. 2005. An Evaluation of Process-Oriented Supply Chain Management Frameworks. **Journal of Business Logistics** 26(1):25 – 51. DOI: 10.1002/j.2158-1592.2005.tb00193.x

LEVENDA et al. 2021. Renewable energy for whom? A global systematic review of the environmental justice implications of renewable energy technologies. **Energy Research & Social Science**.
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101837>

LEWANDOWSKI, M. 2016. Designing the Business Models for Circular Economy – Towards the Conceptual Framework. **Sustainability, MDPI**. doi:10.3390/su8010043

LIBERATI et al. 2009. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. **Annals of Internal Medicine**. Volume 151, Number 4
<https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00136>

LIEDER, M., RASHID, A., 2016. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **J. Clean. Prod.** 115, 36–51.

LIU, Yan; ECKERT, Claudia M.; EARL, Christopher. A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, p. 113738, 2020

LOPES, J. C. M. O Papel da Economia Circular no Setor Têxtil Português. **Faculdade de Economia. Universidade do Porto**. Portugal. 2021.

LONZANO, R. BARREIRO-GEN, M. How circular is the circular economy? Analyzing the implementation of circular economy in organizations. **Business Strategy and the Environment**. 2020. DOI:10.1002/bse.2590

building cases and their decarbonisation potential. **Resources, Conservation & Recycling Advances**. 17 (2023) 200130.
<https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200130>

MA, S., Wen, Z.Z., Chen, J., Wen, Z.Z., 2014. Mode of circular economy in China's iron and steel industry: a case study in Wu'an city. **J. Clean. Prod.** 64.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.008>

MACIEL et al. 2023. Robô Limpador de Painel Solar. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Elétrica. Universidade Anhembí Morumbi (UAM)

MADRIGAL et al. 2023. Exploring PV Waste Management Solutions Using Circular Strategies. **Journal of Sustainability Research**. DOI: 10.20900/jsr20230008

MARSH. G. 20230. What's to be done with 'spent' wind turbine blades? **Renewable Energy Focus**. Volumes 22–23. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2017.10.002>

MARTINS. R. C. O papel do setor privado no cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável no âmbito da Agenda 2030: Estudo de caso sobre adoção de práticas sustentáveis e de ESG pelas instituições bancárias privadas Bank of America e JP Morgan Chase & Co. 2023. **Pontifícia Universidade Católica de São Paulo**.

MARTÍN-MARTÍNEZ, F., SÁNCHEZ-MIRALLES, A., RIVIER, M., & CALVILLO, C. (2017). Centralized vs distributed generation. A model to assess the relevance of some thermal and electric factors. Application to the Spanish case study. **Energy**, **134**, 850- 863. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.055>

MELLO. G, Ferreira Dias M, Robaina M. Evaluation of the environmental impacts related to the wind farms end-of-life. 2022. **Energy Reports** **8** (2022) 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.024>

MENDONÇA. R. B. S. 2021. Avaliação do impacto do uso de água em plantas fotovoltaicas no Brasil com estudo de caso. Escola de Engenharia Agrícola e Ambiental. **Universidade Federal Fluminense**.

MENDOZA et al. Circular economy business models and technology management strategies in the wind industry: Sustainability potential, industrial challenges and opportunities. 2022. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **163** (2022) 112523. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112523>

MENDONZA and PIGOSSO. How ready is the wind energy industry for the circular economy? **Sustainable Production and Consumption**. Volume 43, December 2023, Pages 62-76. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.10.016>

MESA. Et al. 2022. Linking product design and durability: A review and research agenda. **Heliyon**. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10734>

MICHELINI et al. From linear to circular economy: PSS conducting the transition. 2017. The 9th CIRP IPSS Conference: **Circular Perspectives on Product/Service-Systems**. doi: 10.1016/j.procir.2017.03.012

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **MME**. Decreto-Lei n.º 5.163 de 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **MME**. 2023. Transição energética: a mudança de energia que o planeta precisa. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/transicao-energetica-a-mudanca-de-energia-que-o-planeta-precisa>> Acesso em 21 jul. 2024.

MIRLETZ. H, Ovaitt S, Sridhar S, Barnes TM (2022) Circular economy priorities for photovoltaics in the energy transition. **PLoS ONE** 17(9): e0274351. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274351>

MJ PAGE et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ** 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71.

MONTEIRO DE SOUSA N. et al. 2023. Photovoltaic electronic waste in Brazil: Circular economy challenges, potential and obstacles. **Social Sciences & Humanities Open** 7 (2023) 100456. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100456>

MORAN et al. 2018. Sustainable hydropower in the 21st century. PNAS vol. 115. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1809426115>

MOREA. D. MANGO. F. CARDIE. F. COSIMO. P. BITTUCI. L. Circular Economy Impact Analysis on Stock Performances: An Empirical Comparison with the Euro Stoxx 50® ESG Index. **Sustainability** 2022, 14, 843. <https://doi.org/10.3390/su14020843>

MORSELETTTO. P. 2020. Targets for a circular economy. **Resources, Conservation & Recycling** 153 (2020) 104553. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>

MULVANEY et al. Progress towards a circular economy in materials to decarbonize electricity and mobility. 2021. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 137 (2021) 110604. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110604>

MUNIZ. R.B. 2024. Economia circular aplicada a gestão de resíduos no setor de energia: extensão de vida útil e descarte de transformadores de potência. **Universidade Federal do Maranhão**. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

MUTEZO. G, J. MULOPO. A review of Africa's transition from fossil fuels to renewable energy using circular economy principles. 2021. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 137 (2021) 110609. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110609>

NASCIMENTO et al. Interrelationships between circular economy and Industry 4.0: A research agenda for sustainable supply chains. **Business Strategy an**

NARS. N. 2023. Ep 2: Remanufacturing and the circular economy. **Ellen MacArthur Foundation**.

NEOENERGIA. 2022. Relatório Integrado. Disponível em: https://www.neoenergia.com/documents/d/guest/ri_neoenergia_2022. Acesso em: 19 de dez, 2023.

NIEHUES BUSS. R. et al. 2022. Relação entre Economia Circular (EC) e Logística Reversa (LR): Uma revisão sistemática da literatura. **SEMEAD. Seminário em Administração** 1996 -2022.

NUBHOLZ ET AL. From circular strategies to actions: 65 European circular building cases and their decarbonisation potential. **Resources, Conservation & Recycling Advances**. Volume 17, May 2023, 200130. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200130>

NAG U, SHARMA S, PHADI S., Evaluating value requirement for Industrial Product-Service System in circular economy for wind power-based renewable energy firms. 2022. **Journal of Cleaner Production**, (2022), 340. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130689>

NIZETIC et al. Smart technologies for promotion of energy efficiency, utilization of sustainable resources and waste management. 2019. **Journal of Cleaner Production** 231 (2019) 565e591. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.397>

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável. Objetivo de ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Desenvolvimento Sustentável. ONU. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>>. Acesso em: 16 set. 2023.

OKAFOR et al. Situating coupled circular economy and energy transition in an emerging Economy. 2021. **AIMS Energy**, 9(4): 651–675. DOI: 10.3934/energy.2021031

OLABI ET AL. Assessment of the pre-combustion carbon capture contribution into sustainable development goals SDGs using novel indicators. 2022. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. DOI 10.1016/j.rser.2021.111710.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. Who Cares Win. Connecting Financial Markets to a changing world. 2004.

PACTO GLOBAL REDE BRASIL. ESG. 2023. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/pg/esg>>. Acesso em: 26 out. 2023

PACTO GLOBAL. 2022. Economia circular: empresas e academia se unem em novo Movimento do Pacto Global da ONU no Brasil. Disponível em: < <https://www.pactoglobal.org.br/noticia/economia-circular-empresas-e-academia-se-unem-em-novo-movimento-do-pacto-global-da-onu-no-brasil/>>. Acesso em 19 de ago. 2024.

PASQUALI F., SUK H., BEHDAD S., HALL J. Method for design life of energy system components based on Levelized Cost of Energy. 2020. **Journal of Cleaner Production** 268 (2020) 121971. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121971>

PARIDA et al. 2019. Reviewing Literature on Digitalization, Business Model Innovation, and Sustainable Industry: Past Achievements and Future Promises. **Sustainability** 2019, 11, 391; doi:10.3390/su11020391

PARK, J., Sarkis, J., Wu, Z., 2010. Creating integrated business and environmental

value within the context of China's circular economy and ecological modernization. **Journal of Cleaner Production** 18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.06.001>

PESSOA M. Y. et al. 2022. Gerenciamento de Resíduos Fotovoltaicos: Desafios e Soluções para a Economia Circular. **XLII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2022.

PORTAL SOLAR. Geração distribuída de energia (GD): o que é, regras, benefícios e como fazer parte. 2023. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>>. Acesso em: 26 out. 2023

PIETRO - SANDOVAL et al. 2018. Towards a consensus on the circular economy. **Journal of Cleaner Production** 179. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>

Potting, J. et al. 2017. Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. **PBL Netherlands Environmental Assessment Agency**.

PROSKURYAKOVA. L, ERMOLENKO. G. The future of Russia's renewable energy sector: Trends, scenarios and policies. 2019. *Renewable Energy* 143 (2019) 1670e1686. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.096>

RABAIA M. K. H., SEMERARO A. O., Recent progress towards photovoltaics' circular economy. 2022. **Journal of Cleaner Production** 373 (2022) 133864. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133864>

RANTA, V., Aarikka-Stenroos, L., Ritala, P., Mäkinen, S.J., 2018. Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: a cross-regional comparison of China, the US, and Europe. *Resour. Conserv. Recycl.* 135, 70–82.

REIS. F. B. FERNANDES. P. R. B. A reutilização de resíduos sólidos na economia circular: estudo de caso no mercado calçadista. **Fashion Revolution**. 2019. Disponível em <<https://www.fashionrevolution.org/brazil-blog/a-reutilizacao-de-residuos-solidos-na-economia-circular-estudo-de-caso-no-mercado-calcadista/>>. Acesso em: 04 set. 2023.

RODRIGUES. M. 2024. A economia circular como um meio para um futuro sustentável. **Revista Acadêmica de Tendências em Comunicação e Ciências Empresariais**. <https://orcid.org/0009-0002-2912-6232>

ROMERO-LUIS et al. 2021. What is the maturity level of circular economy and bioenergy research addressed from education and communication? A systematic literature review and epistemological perspectives. **Journal of Cleaner Production**. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129007>

ROSA, P. et al. 2019. Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. **International Journal of Production Research**. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896>

SEVERINO, M. M. & CAMARGO, I. M. de T. & OLIVEIRA, M. A. G. 2008. Geração distribuída: discussão conceitual e nova definição. **Revista Brasileira de Energia**, 14 (1), p. 47-69.
<https://doczz.com.br/doc/395956/gera%C3%A7%C3%A3o-distribu%C3%ADa--sbpe---sociedade-brasileira-de>.

SALIM et al. Drivers, barriers and enablers to end-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: A systematic literature review. 2019. **Journal of Cleaner Production** 211 (2019) 537e554.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.229>

SAUVÉ, S. BERNANRDO, S. SLOAN, P. 2016. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development** 17 (2016) 48–56.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>

SCHAHBAZ et al. 2020. The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from the renewable energy country attractive index. **Energy**. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118162>

SICA et al. 2022. Management of end-of-life photovoltaic panels as a step towards a circular economy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. DOI 10.1016/J.RSER.2017.10.039

SILVA et al. 2023. A situação da economia circular a partir do novo marco legal do saneamento básico no Brasil. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). **Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (Fusp)**.
<http://dx.doi.org/10.38116/brua29art5>

SOHAIL et al. 2025. How does the circular economy affect energy security and renewable energy development? **Energy, Volume 320, 1 April 2025, 135348**.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135348>

SOTIROPOLOU K. F, VAVATSIKOS A. P.2021. Onshore wind farms GIS-Assisted suitability analysis using PROMETHEE II. **Energy Policy** 158 (2021) 112531. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112531>

SOUSA-ZOMER et al. 2018. Exploring the challenges for circular business implementation in manufacturing companies: An empirical investigation of a pay-per-use service provider. **Resources, Conservation and Recycling**.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.033>

STAMER, Dirk; ZIMMERMANN, Ole; SANDKUHL, Kurt. What Is a Framework? - A Systematic Literature Review in the Field of Information Systems. In: International **Conference on Business Informatics Research**. Springer, Cham, 2016. p. 145-158.

STAMFORD et al. 2023. Life cycle sustainability assessment and circularity of geothermal power plants. **Sustainable Production and Consumption** 35 (2023) 141–156.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.027>

STENNIKOV, V; BARAKHTENKO, E; MAYOROV, G; SOKOLOV, D; ZHOU, B. Coordinated management of centralized and distributed generation in an integrated energy system using a multi-agent approach. **Applied Energy**. 309 (2022) 118487.

STEWART, R. M. M., & NIERO, M. 2018. Circular economy in corporate sustainability strategies: A review of corporate sustainability reports in the fast-moving consumer goods sector. **Business Strategy and the Environment**, 27(7), 1005-122. <https://doi.org/10.1002/bse.2048>

SUMRIT, D.2020. Supplier selection for vendor-managed inventory in healthcare using fuzzy multi-criteria decision-making approach. **Decision Science Letters** 9 (2020).
doi: 10.5267/j.dsl.2019.10.002

THELLUSFEN et al. 2020. Smart energy cities in a 100% renewable energy context. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109922>

UPADHYAY, A. et al. 2021. Blockchain technology and the circular economy: Implications for sustainability and social responsibility. **Journal of Cleaner Production**. Volume 29315 April 2021. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.126130

UPADHYAY, A. et al. 2021. Exploring barriers and drivers to the implementation of circular economy practices in the mining industry. **Resources Policy** 72 (2021) 102037.
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102037>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA**. Centralized Generation of Electricity and its Impacts on the Environment. 2023. Disponível < <https://www.epa.gov/energy/centralized-generation-electricity-and-its-impacts-environment>>. Acesso em: 26 ago. 2023.

UNAL, E. SHAO, J. A taxonomy of circular economy implementation strategies for manufacturing firms: Analysis of 391 cradle-to-cradle products. 2019. **Journal of Cleaner Production** 212 (2019) 754e765.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.291>

UVAROVA et al. The typology of 60R circular economy principles and strategic orientation of their application in business. 2023. **Journal of Cleaner Production**

409 (2023) 137189.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137189>

UWUIGBE. Et al. 2022. Circular Economy: A Bibliometric Review of Research in Emerging Economies (2010-2024). **International Journal of Energy Economics and Policy**, **2025**, **15**(1), 77-89.

DOI: <https://doi.org/10.32479/ijeep.17021>

VELASCO. R. V. 2022. A influência das características do campo organizacional na adoção de práticas de ESG: uma análise no setor elétrico brasileiro. **Fundação Getúlio Vargas**.

VIBRA. 2022. Relatório de Sustentabilidade.

Disponível em: https://www.vibraenergia.com.br/sites/default/files/2023-06/vibra_relatorio_sustentabilidade_2022.pdf. Acesso em: 19 de dez, 2023.

VIEIRA. G. V. 2022. Eficiência energética através da implementação da cultura ESG. **Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho**.

VIER. M. B. 2021. Reflexões sobre a Economia Circular. COLÓQUIO – Revista Desenvolvimento Regional - Faccat - Taquara/RS - v. 18, n. 4, out./dez. 2021

VILAS. L. H.L. Brazil. Impacts of Digital Technology on Sustainability in automotive recycling sector. 2023. **Journal of Law and Sustainable Development**.

<https://doi.org/10.37497/sdgs.v11i1>.

YANG. Et al. 2022. Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues. **Environmental Chemistry Letters** (2023) **21:55–80**. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01499-6>

YILDIZBASI. A. Blockchain and renewable energy: Integration challenges in circular economy era. **Renewable Energy**.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.053>

YU X. et al. Current Challenges in Efficient Lithium-Ion Batteries' Recycling: A Perspective. 2022. **Global Challenges** **2022**, **6**, 2200099.

<https://doi.org/10.1002/gch2.202200099>

WALKER. N, COLEMAN N., HODGSON P., COLLINS N., BRIMACOMBE L. Evaluating the Environmental Dimension of Material Efficiency Strategies Relating to the Circular Economy. 2018. **Sustainability** **2018**, **10**, 666.
doi:10.3390/su10030666

WIND EUROPE. 2020. Accelerating Wind Turbine Blade Circularity. Themat Reports. May 2020, pp. 11–13. Available online: <https://windeurope.org/data-and-analysis/product/accelerating-wind-turbine-blade-circularity/>

WRALSEN B. et al. Circular business models for lithium-ion batteries -

Stakeholders, barriers, and drivers. 2021. **Journal of Cleaner Production** 317 (2021) 128393. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128393>

Xie et al. 2024. Community-based virtual power plants' technology and circular economy models in the energy sector: A Techno-economy study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 192. March 2024, 114189. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114189>

ZADEH. L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*, v. 8, p. 338-353, 1965.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO PARA OS ESPECIALISTAS

Apresentação do questionário

Este questionário faz parte do desenvolvimento de uma pesquisa acadêmica de mestrado sobre práticas de Economia Circular passíveis de aplicação em empresas geradoras centralizadas de energia renovável e será utilizado apenas para fins acadêmicos. Esta pesquisa deve levar entre 10 a 15 minutos para ser concluída.

O objetivo da pesquisa está em criar um framework conceitual para aplicação de práticas de economia circular em empresas geradoras centralizadas de energia renovável, através de práticas encontradas na literatura acadêmica dos últimos seis anos e em relatórios de sustentabilidade corporativa de empresas de energia (geradoras, transmissoras e distribuidoras) listados no ISE 2023.

Dados do respondente:

- 1) Nome:
- 2) Empresa:
- 3) Cargo:
- 4) Formação:
- 5) Tempo de experiência com temas relacionados a sustentabilidade:

Cadeia de Suprimentos e Valor

- 1- Sem importância 2- Pouco importante 3- Moderadamente importante 4- Importante 5- Muito Importante

Cadeia de Suprimentos e Valor					
Análise de inclusão de cláusulas contratuais com os fornecedores de peças de equipamentos de geração para o fornecimento de peças ou subconjuntos de equipamentos reconicionados.	1	2	3	4	5
Formalização em contrato para que fornecedores de equipamentos de geração participem e auxiliem nos custos de recuperação dos equipamentos.	1	2	3	4	5
Formalização em contrato para que fornecedores de equipamentos de geração participem e auxiliem nos custos de reciclagem de equipamentos.					

Aplicação de modelo de suprimentos circulares em atividades de compras e gestão de fornecedores	1	2	3	4	5
Desenvolvimento de sistema de logística reserva em conjunto com fabricantes de painéis fotovoltaicos	1	2	3	4	5
Criação de rede de informação entre os produtores e os recicladores, com gerenciamento e recuperação dos principais resíduos dos painéis solares e de baterias	1	2	3	4	5
Criação de programa para formação de agentes de reciclagem	1	2	3	4	5
Trabalhar em parceria com cooperativas/recicladores formais locais que realizam a reciclagem de resíduos não perigosos, tais como: papel, plástico, madeira e metais.	1	2	3	4	5
Procurar e ou criar um ecossistema no qual peças e equipamentos podem ser reaproveitados, remodelados e ou substituídos ou segmentadas em peças para o uso em aplicações secundárias, possibilitando a extensão do ciclo de vida.	1	2	3	4	5

Você acredita que há alguma outra prática relacionada a esta categoria e que não foi contemplada anteriormente? Se sim, aponte qual seria esta prática. Além disso, pondere de 1 até 5 (1 sem importância até 5 muito importante)

4Rs (Reduzir, Reusar, Reciclar, Recuperar)

1- Sem importância 2- Pouco importante 3- Moderadamente importante 4- Importante 5- Muito Importante

4Rs (Reduzir, Reusar, Reciclar, Recuperar)					
Aumentar a quantidade reciclada de pás e equipamentos relacionados a pás eólicas.	1	2	3	4	5
Estudar opções de reciclagem de componentes de forma separada para melhorar as taxas de reciclagem.	1	2	3	4	5
Fornecer destinação adequada de placas fotovoltaicas substituídas nas usinas solares, que são destinadas à transformação em três componentes principais: vidro, cabos de cobre e metais.	1	2	3	4	5
Implementar o hibridismo na geração de energia, como por exemplo, produzir energia eólica e solar no mesmo espaço	1	2	3	4	5
Analisar ativos antigos que estiverem em boas condições funcionais para serem reutilizados no mesmo parque eólico ou num local diferente	1	2	3	4	5
Reaproveitamento de resíduos em fase de descomissionamento, como placas solares, geradores, transformadores e placas eólicas	1	2	3	4	5
Realização de coleta e destinação de resíduos para a reciclagem	1	2	3	4	5
Reutilização de água (sistemas de captação de água de chuva e de tratamento de água para reuso)	1	2	3	4	5
Recuperação de equipamentos completos para reutilização, como por exemplo, transformadores	1	2	3	4	5
Produção autônoma de energia e água para utilização em escritórios	1	2	3	4	5
Utilização de indicadores de avaliação do desempenho envolvendo temas como água, energia, resíduos e biodiversidade	1	2	3	4	5
Utilização métodos de medida, como o LCOE (Levelized Cost of electricity) que mede o custo líquido médio de geração de eletricidade para um gerador ao longo de sua vida útil, a fim de determinar a vida real dos componentes, e permitir um projeto de vida longa que utilizará menos recursos e será mais	1	2	3	4	5

sustentável					
-------------	--	--	--	--	--

Você acredita que há alguma outra prática relacionada a esta categoria e que não foi contemplada anteriormente? Se sim, aponte qual seria esta prática. Além disso, pondere de 1 até 5 (1 sem importância até 5 muito importante).

Ciência/Academia

1- Sem importância 2- Pouco importante 3- Moderadamente importante
4- Importante 5- Muito Importante

Política/Ciência/Academia					
Realização de parcerias com instituições acadêmicas, centros de inovação de geração para criar e estabelecer locais pilotos e infraestruturas conjuntas que forneçam tecnologias e técnicas eficientes para a reciclagem	1	2	3	4	5
Criar parcerias estratégicas com stakeholders tais como, universidades, centros de pesquisa e governos, com objetivo de estudar e criar alternativas circulares	1	2	3	4	5

Você acredita que há alguma outra prática relacionada a esta categoria e que não foi contemplada anteriormente? Se sim, aponte qual seria esta prática. Além disso, pondere de 1 até 5 (1 sem importância até 5 muito importante).

Tecnologias

1- Sem importância 2- Pouco importante 3- Moderadamente importante 4- Importante
5- Muito Importante

Tecnologias					
Automatizar sistemas de ar e aquecimento em prédios (escritórios, usinas) para diminuição de consumo de energia	1	2	3	4	5
Solicitar ou desenvolver com os fornecedores passaportes digitais de produtos que contenham informações sobre produtos em toda a cadeia de valor e ciclo de vida	1	2	3	4	5
Utilização de tecnologias, tais como big data e internet das coisas (Iot) para antecipação de manutenções, necessidades de aquisições de materiais para evitar desperdícios.	1	2	3	4	5
Utilização de novas tecnologias para o planejamento de localização de terras e monitoramento do vento e sol, com o objetivo de fornecer dados mais precisos no projeto de construção	1	2	3	4	5
Utilização da tecnologia blockchain para rastrear falhas e indicadores de ciclo de vida de equipamentos utilizados na construção de parques eólicos e solares	1	2	3	4	5

Utilização de ferramentas tecnológicas (tais como sistemas e apps) para o monitoramento de resíduo gerados durante o processo de descomissionamento	1	2	3	4	5
Utilização de robôs autônomos de limpeza de painéis solares	1	2	3	4	5
Utilização ferramentas tecnológicas para o planejamento da localização de terras para construção usinas eólicas e para mitigar riscos a biodiversidade	1	2	3	4	5
Utilização de sistema SAP ou outro ERP para rastreamento de resíduos por meio de dados	1	2	3	4	5

Você acredita que há alguma outra prática relacionada a esta categoria e que não foi contemplada anteriormente? Se sim, aponte qual seria esta prática. Além disso, pondere de 1 até 5 (1 sem importância até 5 muito importante).