



Sustentabilidade e economia circular no setor de energia solar fotovoltaica: estudos de casos em empresas líderes

Túlio César Siqueira Venâncio (UFPB)

tulio.venancio@academico.ufpb.br

Andressa Kelly da Silva Nunes (UFPB)

andressa.nunes@academico.ufpb.br

Sandra Naomi Morioka (UFPB)

sandra.morioka@academico.ufpb.br

A geração de energia solar fotovoltaica vem crescendo significativamente a nível mundial nos últimos anos. Desenvolvimento de novas tecnologias, técnicas de produção, eficiência de geração e custos vem atraindo o interesse das organizações para utilização desse tipo de tecnologia. Nesse contexto, o presente artigo faz uma análise em empresas geradoras de energia que implementam a tecnologia classificadas em rankings mundiais de sustentabilidade, buscando verificar ações de sustentabilidade divulgadas em relatórios corporativos e websites corporativos. Em particular, foram analisadas ações da economia circular classificadas em closing, narrowing, slowing e intensifying de forma a observar o comprometimento das empresas com os possíveis impactos futuros, e discutir as ações e suas abordagens em relação a literatura, sugerindo pesquisas futuras no desenvolvimento de ações da economia circular no setor.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Economia circular, Modelo de negócio circular, Inovação, Energia, Energia solar fotovoltaica.

1. Introdução

Buscando melhorar o gerenciamento dos resíduos na produção e maior eficiência do uso de insumos nas empresas e seus produtos. A economia circular é um termo básico que visa melhorar os fluxos de recursos e alterar a visão linear (*cradle-to-grave*) para uma visão de retorno e máximo aproveitamento de materiais (recursos) e energia ao longo do ciclo de vida do produto (*cradle-to-cradle*) (BOCKEN et al., 2016).

Sabendo que os recursos são limitados e que seu descarte tem impactos ambientais e socioeconômicos negativos, buscar reverter os fluxos materiais e energéticos implementando soluções que favoreçam a economia circular é uma estratégia de grandes ganhos para a organização e a sociedade. A realização de pesquisas, inovação em produtos e sistemas e principalmente estudos de design e eficiência dos produtos são estratégias importantes para que as empresas melhorem esses desempenhos. Dessa forma, a organização pode buscar alinhar os objetivos do negócio com os objetivos de sustentabilidade, criando valor econômico, social e ambiental, ou seja, sob a ótica do *triple bottom line* (ELKINGTON, 1998).

Diante disso, o modelo de negócio sustentável pode ser visto como uma estratégia de desenvolvimento das corporações, levando em conta mudanças e melhorias das operações e processos visando o desenvolvimento sustentável e buscando oportunidades de negócio no campo da sustentabilidade (BELZ; BINDER, 2017). A integração de medidas e modelos sustentáveis como o *triple bottom line*, eficiência de processos e melhorias nos ciclos de vida são estratégias de mudanças organizacionais que visam melhorar os níveis de sustentabilidade da organização e afetar positivamente os stakeholders envolvidos.

Em linha com a sustentabilidade e a eficiência energética, a busca por tecnologias que forneçam energia limpa e eficiente segue contínua, no caso da energia solar, se tem uma falsa sensação que a geração de energia não causa impacto algum ao meio ambiente. Nesse caso, a produção e principalmente o descarte desses componentes no fim da vida útil podem causar problemas devido aos tipos de materiais utilizados em sua fabricação (SALIM et al., 2019).

O foco em energia solar deve-se ao crescimento e popularização desse tipo de geração nos últimos anos. Segundo o *Renewables Global Status Report 2020* (REN21, 2020), o crescimento mundial dessa tecnologia em 2019 foi de 115GW, o que representa um crescimento anual de 22,5%.

Diante disso, o presente artigo buscou analisar as ações ligadas à Economia Circular que estão sendo comunicadas/divulgadas por empresas do setor de energia fotovoltaica. Para isso, foram analisados relatórios de sustentabilidade e websites corporativos de duas empresas líderes em

termos de sustentabilidade no setor. A análise de conteúdo desses documentos contempla aspectos ligados ao compromisso com o desenvolvimento sustentável e levantamento de iniciativas voltadas aos princípios de Economia Circular (*closing, narrowing, slowing e intensifying.*)

2. Fundamentação teórica

A criação de valor para os stakeholders em um modelo de negócio sustentável pode ser observada através dos compromissos da empresa com práticas e medidas de sustentabilidade social, econômica e ambiental. A adoção de medidas sustentáveis com o intuito de criar valor para seus stakeholders são descritas e divulgadas pelas organizações como indicação de compromisso (MORIOKA et al., 2017; SCHALTEGGER; HANSEN; LÜDEKE-FREUND, 2016).

2.1. Economia circular

A economia circular tem sido usada pelas organizações para impulsionar o crescimento da estratégia de diferenciação de produtos e a ganhar vantagem competitiva (FRANCO, 2019). A integração da perspectiva do ciclo de vida dentro do paradigma da economia circular tende a moldar os sistemas fotovoltaicos como uma fonte de energia verdadeiramente sustentável (SALIM et al., 2019).

Analisar a abordagem circular de uma empresa pode ser realizada verificando as estratégias e abordagens divulgadas em relação à economia circular. Segundo (VAN LOON; VAN WASSEHOF, 2020), a transição de um modelo característico linear para um modelo de negócio circular passa por uma série de dificuldades e barreiras, principalmente convencer investidores a investir no negócio.

Para entender a economia circular focam-no contexto organizacional, deve-se observar os princípios de *Closing, Narrowing, Slowing e Intensifying*. Eles focam em diferentes mecanismos ou meios de alterar o fluxo material de uma visão linear de produção-uso-descarte, para uma visão cíclica de produção-uso-retorno-produção. São estratégias que visam melhorar a eficiência nessas etapas isoladamente ou em conjunto (TOLIO et al., 2017).

O *Closing* é o princípio mais comumente abordada pela economia circular, ela visa tornar os fluxos cíclicos dando retorno aos produtos e componentes em fim de vida útil para o início do processo, onde serão utilizados na produção de outros novos (BOCKEN et al., 2016). A estratégia mais comum relacionada ao *closing* é a reciclagem, dando retorno aos materiais,

nesse caso o foco das estratégias está mais relacionado a etapa de pós uso. Porém, existem também os ciclos técnicos de reuso e remanufatura de materiais.

Narrowing é o foco na eficiência dos processos, é o estreitamento do fluxo de recursos, melhorando sua eficiência e demandando menor consumo de energia e materiais (BOCKEN et al., 2016). Essa etapa está mais focada no processo inicial de produção e tecnicamente a redução do uso de recursos está associada a menores custos de produção.

O *Slowing* é o prolongamento do tempo de vida e uso dos produtos, é a garantia de assistência e facilidades de manutenção que estão associadas à rentabilidade desse produto (BOCKEN et al., 2016). As estratégias nesse princípio estão concentradas na fase de uso, mas para isso deve se modificar e propor mudanças no produto que tornem mais fáceis e melhores a assistência durante o uso, onde sem a necessidade de descarte, reduz o fluxo dos recursos.

O *Intensifying* é um princípio com característica de maior aproveitamento de um produto. Nesse caso não necessitaria de diversos produtos para a realização de uma única função, ou seja, um único produto poderia ter características de realizar inúmeras funções ou de ser compartilhado com outros usuários e assim reduzir a necessidade de se possuir algo que pouco será usado.

Uma das principais abordagens na produção para se atender os princípios acima é o design e o projeto inicial pensado nas fases de uso posterior. O *design for zero waste* é um exemplo de estratégia de produção, focada em reduzir o uso de materiais por produto, facilitar o desmonte e recuperação das parte usadas e a redução do descarte de produtos ou materiais (KERDLAP; LOW; RAMAKRISHNA, 2019). As ações realizadas em um produto ou processo, segue fases do início, meio e fim de vida útil descritas por *beginning of life* (BOL), *middle of life* (MOL) e *end of life* (EOL).

De acordo com, (BETANCOURT MORALES; ZARTHA SOSSA, 2020) ressaltaram em sua pesquisa que os principais obstáculos para a transição da economia linear para a economia circular são a legislação, economia, educação, treinamento, atitude da gerência em relação à economia circular e a disponibilidade financeira da empresa.

Um dos setores que têm se preocupado em incorporar a economia circular é o de geração de energia fotovoltaica. Os sistemas fotovoltaicos, apesar de possuírem uma operação de baixo impacto, não significa necessariamente que sejam livres totalmente de impactos ambientais e para saúde humana ao longo do seu ciclo de vida. Ao atingir o fim de seu ciclo de vida, os painéis, inversores e sistema de armazenamento formam resíduos eletrônicos (SALIM et al., 2019).

A transição para uma cadeia de abastecimento circular desbloqueia oportunidades inexploradas para cada parte interessada ao longo dessa cadeia de valor (SALIM et al., 2019). A prática da reciclagem é uma ferramenta chave no conceito da economia circular, e para isso, a energia é um dos seus principais insumos, sendo importante considerar a conservação de energia, eficiência na reciclagem e retenção de material (PARCHOMENKO et al., 2019). Porém, os demais princípios da economia circular, além do *closing*, devem ser considerados para tornar modelos de negócios desse setor mais circulares.

2.2. Tecnologia fotovoltaica

A popularização da energia solar fotovoltaica deve-se à melhoria na eficiência dos módulos e hoje a eficiência por placa ultrapassa facilmente os 20%. O valor por watt de energia gerado pelas placas caiu de US\$79 para US\$0,36 em menos de 40 anos e grande parte disso é devido a novas técnicas de produção desenvolvidas, e o avanço nas tecnologias de semicondutores no mundo (DANTAS; POMPERMAYER, 2018).

As placas ou módulos solares são apenas um dos componentes de todo o sistema, entretanto é o equipamento mais importante devido às pesquisas de melhoria de eficiência estar concentrada neles. Outro fator é sua vida útil que atualmente é em média 20 anos, apesar de existirem tecnologias com até 50 anos (BYD COMPANY LIMITED, 2020, p. 61).

O aumento da produção e uso dessa tecnologia pode se tornar um problema em um futuro próximo. Isso porque ao fim de sua vida útil elas são descartadas como resíduo eletrônico (*e-waste*) e estima-se que 10% de todo o resíduo eletrônico em 2050 seja proveniente de placas solares (FARRELL et al., 2020). Projetam-se 195.332 quilo toneladas de resíduos de painéis fotovoltaicos até 2050 (MAY; DAVIDSON; MONAHOV, 2018). Além disso, os processos de incineração liberam gases cancerígenos na atmosfera, enquanto o aterro contamina o solo e os mananciais de água devido a presença de elementos altamente tóxicos em sua composição. Por isso, é necessário um planejamento estratégico do final de vida para que impulse a economia circular e permita a recuperação do material de uma forma mais eficaz (SALIM et al., 2019). Observando a limitação de recursos e visto que as placas possuem uma pequena quantidade de materiais raros, principalmente as de primeira geração, é extremamente importante a busca de soluções visando uma possível escassez de recursos em um futuro próximo e o menor impacto ambiental possível (FARRELL et al., 2020).

O processo de fabricação de sistemas fotovoltaicos utiliza materiais raros, como por exemplo, rutênio, gálio, índio e telúrio, que são escassos e valem a pena recuperá-los (ANNICK

ANCTIL; FTHENAKIS, 2012). A gestão de sistemas fotovoltaicos no seu final de vida, está apenas começando a aparecer no radar da política governamental, em alguns países europeus, tendo políticas e regulamentos bem estabelecidos para a gestão de resíduos pós-consumo (XU et al., 2018).

Poucos fabricantes levam em consideração o design para auxiliar o meio ambiente, por exemplo, *design* de produto que permite a remoção de módulos fotovoltaicos quebrados e substituí-los sem danificar outras peças. Permitir o design para o meio ambiente evitará o armazenamento de resíduos perigosos, substituindo peças quebradas antes de atingirem seu ciclo de vida máximo (REIM; PARIDA; ÖRTQVIST, 2015).

A chave para superar as barreiras percebidas para o gerenciamento do final do ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos é promover uma compreensão dos seus facilitadores. (SALIM et al., 2019) sintetiza uma lista dos facilitadores e os agrupam em cinco categorias: (i) Política e econômica: esta categoria está relacionada com os incentivos econômicos para apoiar a gestão final de vida de painéis fotovoltaicos; (ii) Social: este cluster engloba a interação ou cooperação entre os atores ao longo de toda a cadeia de abastecimento para promover a renovação da reciclagem de painéis fotovoltaicos; (iii) Mercado: este grupo refere-se à condição de mercado ideal para permitir quantidade suficiente de produtos de final de vida a serem reciclados e demanda crescente de produtos reciclados; (iv) Comportamental: refere-se ao nível de consciência ambiental entre os atores da cadeia de abastecimento que irão promover as atividades de coleta e reciclagem; e (v) Tecnologia e infraestrutura de reciclagem: este cluster envolve o desenvolvimento potencial de novas tecnologias de reciclagem, infraestrutura e viabilidade técnica da reciclagem por meio do design ecológico.

3. Método de pesquisa

Considerando que o objetivo da pesquisa é analisar as ações ligadas à Economia Circular que estão sendo comunicadas/divulgadas por empresas do setor de energia fotovoltaica, foram escolhidas duas empresas listadas no índice de sustentabilidade *Global 100* avaliado pela *Corporate Knights* do Canadá.

O método de pesquisa realizado foi do tipo estudo de caso, visando analisar amostras e comparando-as com um embasamento teórico, a fim de justificar fatos e encontrar lacunas para a construção de teorias com base nas evidências do caso (EISENHARDT, 1989; MIGUEL, 2007). Nesse estudo foram analisadas as evidências nos canais e meios de divulgação das

empresas, sendo eles websites corporativos e relatório de sustentabilidade (*Sustainability Report*) divulgado.

As duas empresas escolhidas foram a italiana ENEL e a espanhola ACCIONA, listadas respectivamente na 8ª e 70ª posição, além da ENEL também estar listada no *Dow Jones Sustainability Index* (DJSI). Ambas são empresas de área de atuação ampla, com participação expressiva no setor de energia e implementação de tecnologias de geração solar fotovoltaica.

As citações e referências foram codificadas no software *QDAminer* para analisar o conteúdo do material coletado e avaliar o quanto cada empresa cita determinado princípio de economia circular, e o que ela normalmente cita sobre cada um. Com esses dados, comparamos com o encontrado na literatura obter uma análise crítica desses dados.

4. Resultados e discussão

4.1. Descrição e compromissos das empresas

A ENEL é uma empresa com sede na Itália responsável por geração, distribuição e comercialização de energia elétrica. A empresa atualmente possui uma subsidiária chamada ENEL *Green Power*, responsável por geração de energia solar, eólica, geotérmica e hidroelétrica sendo líder global na geração de energia renovável. Além disso, existe a ENEL X que é responsável por gerenciamento e armazenamento de energia, mas principalmente no desenvolvimento de soluções no setor.

A ACCIONA é uma empresa espanhola com atividades principais em construção e energia renováveis. A empresa desenvolve e implementa projetos com foco em sustentabilidade e a APD (*ACCIONA Producciones y Diseño*) é um dos setores de desenvolvimento e inovação de projetos e pesquisas.

Verificando características divulgadas nos relatórios de sustentabilidade e websites corporativos, foi observado que ambas as empresas citam compromissos de sustentabilidade e divulgam seus resultados ou medidas tomadas. Características como inovação, compromisso com os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU (ODS), redução de emissões de carbono e pesquisa em desenvolvimento de produtos são alguns dos meios de criação de valor e benefícios encontrados.

Quadro 1 - Ações de sustentabilidade

Ações	Descrição	Evidências
Inovação	Meios ou métodos de pesquisa e desenvolvimento de produtos e soluções inovadoras.	ENEL – Possui uma subsidiária de pesquisa e desenvolvimento de produtos chamada ENEL X. ACCIONA – Possui um setor de pesquisa e design de inovações chamada APD (ACCIONA <i>Producciones y Diseño</i>)
ODS	Metas de desenvolvimento sustentável da ONU seguida por cada empresa	ENEL – 1 ao 13, 16 e 17 ACCIONA – 3,4,5,7,8,9,11,12,13,16,17
Redução de emissão de carbono	Comprometimento e metas das empresas para a redução nos níveis de emissão	ENEL - Redução de 70% até 2030 em relação a 2017 e 100% até 2050. ACCIONA – <i>Carbon Neutral</i> desde 2016

1 - As ODS's da ONU são: 1-Eradicação da pobreza;2-Fome zero e agricultura sustentável;3-Saúde e bem estar;4-Educação de qualidade;5-Igualdade de gênero;6-Água limpa e saneamento;7-Energia limpa e acessível;8-Trabalho decente e crescimento econômico;9-Inovação de infraestrutura;10-Redução das desigualdades;11-Cidades e comunidades sustentáveis;12-Consumo e produção responsáveis;13-Ação contra a mudança global do clima;14-Vida na água;15-Vida na terra;16-Paz, justiça e instituições eficazes;17-Parcerias e meios de implementação.

2 – Fonte: Elaborado pelos autores

4.2. Ações circulares

Analisando os relatórios de sustentabilidade (ACCIONA, 2019; ENEL GROUP, 2019) e os conteúdos informativos dos websites, foram encontradas citações e ações dos quatro princípios da economia circular. Essas ações são medidas efetivas ou programas criados com foco em desenvolver os princípios da economia circular. As ações e quantidades citadas estão dispostas nos Quadros 2,3 e 4.

Quadro 2 - Ações closing

Princípio Circular	Ações Divulgadas	
	ENEL	ACCIONA
Closing	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso e tratamento de água. • Práticas de reuso e reciclagem de materiais em todas as linhas de negócio da empresa. • Transformação de resíduos em energia. • Gestão de despejo de metais pesados. • Aumento da taxa de recuperação de materiais com o desmonte de usinas. • Uso de técnicas de desmontagem para melhor recuperação de materiais em usinas. • Uso de materiais reciclados ou de reuso durante a montagem das estruturas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso e tratamento de água. • Práticas de reuso e reciclagem de materiais em todas as linhas de negócio da empresa. • Transformação de resíduos em energia. • Gerenciamento de recuperação de resíduos. • Uso de materiais reciclados ou de reuso durante a montagem das estruturas.
Total	7	5

Fonte: Elaborado pelos autores

O *closing* é bastante divulgado nas duas empresas por ser um dos princípios mais básicos da economia circular, algumas de suas ações, como a reciclagem, são bem difundidas nas divulgações. Ações de reuso, recuperação de materiais, cogeração de energia e reaproveitamento de água são divulgados e foram classificadas como ações da empresa ao princípio *closing* devido sua característica de retorno e aproveitamento.

As duas empresas compartilham ações semelhantes, é possível entender que ações básicas de reciclagem e reuso são tratadas de forma ampla na organização. Enquanto isso, outras ações relacionadas às estruturas de geração de energia são mais específicas ao setor, como no uso de técnicas de desmontagem. Ainda assim, a forma de divulgação não detalha e não classifica bem os setores em que as ações são praticadas.

Quadro 3 - Ações *narrowing*

Princípio Circular	Ações Divulgadas	
	ENEL	ACCIONA
Narrowing	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de gerenciamento para redução da geração de resíduos. • Coleta de água de chuva obtendo maior aproveitamento do uso de água. • Utilização de indicadores para uso eficiente de materiais necessários na montagem das usinas. • Uso de técnicas de montagem para redução da geração de resíduos e aumento do reaproveitamento de materiais em usinas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de gerenciamento para redução da geração de resíduos. • Coleta de água de chuva obtendo maior aproveitamento do uso de água. • Utilização eficiente de materiais necessários na montagem das usinas. • Uso de materiais avançados, que reduzam o desperdício gerado na produção e montagem do produto final.
Total	4	4

Fonte: Elaborado pelos autores

O *narrowing* é bem divulgado pelas empresas por sua característica de redução, o que pode estar relacionado a custos e impactam diretamente no princípio circular. A busca por novos materiais como uso de compósitos em produtos, redução do uso de recursos na produção e redução de desperdícios, como a utilização dos materiais gerados na montagem para a fabricação de outros produtos, ou qualquer técnica e citação relacionada à eficiência dos materiais usados na produção/montagem foram classificadas como *narrowing*.

Assim como na análise do princípio *closing*, o *narrowing* possui ações semelhantes entre as empresas, nesse caso, o foco das ações não demonstra ser geral, mas sim com foco nos sistemas de geração de energia. As ações encontradas foram implementadas nas fases iniciais do processo (BOL, MOL) com impacto também no fim do processo (EOL), entretanto as mudanças e detalhes dos processos não são divulgadas.

Quadro 4 - Ações *slowing* e *intensifying*

Princípio Circular	Ações Divulgadas	
	ENEL	ACCIONA
Slowing	<ul style="list-style-type: none"> • Adoção de design modular e melhorias de design do produto visando aumento da vida útil da estrutura e de seus componentes. • Mensuração da qualidade dos componentes antes da montagem, visando redução de problemas durante a fase de uso. • Análise ao fim do ciclo de vida para identificar oportunidades de melhoria em novos produtos visando aumento do ciclo de vida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção constante de suas estruturas de energia, visando maior vida útil através de análises do ciclo de vida (LCA).
Total	3	1
Intensifying	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação dos princípios de compartilhamento, produto como serviço. • Implementação de infraestruturas de compartilhamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Serviço de compartilhamento de scooters elétricas, como um serviço adicional oferecido pela empresa
Total	2	1

Fonte: Elaborado pelos autores

As ações do *slowing* nas empresas buscam estender o tempo de uso dos produtos. A ENEL busca soluções baseadas no design, como na implementação do design modular. A ACCIONA busca manter manutenções constantes, sempre fazendo análises do ciclo de vida dos produtos. Já no *intensifying* as empresas apresentam ações de implementação de serviços adicionais de compartilhamento, onde a ENEL implementa e gerencia estações de carregamento de automóveis elétricos. Já a ACCIONA apresenta um serviço de compartilhamento de *scooters* na cidade de Madri, ambas as estruturas são desenvolvidas e mantidas pelas empresas e o compartilhamento otimiza e maximiza o uso.

Uma característica encontrada nas referências a economia circular presente nos relatórios e nos sites é o design. A forma que as estruturas são instaladas ou fabricadas tem essa visão de agregar benefícios antes, durante e após o uso (BOL, MOL, EOL). O design modular dos produtos e estruturas é uma das estratégias que auxilia as empresas a melhorar os fluxos de recursos, e a

ENEL divulga pesquisas na área, mas não apresenta detalhes das vantagens e desvantagens das alterações.

Apesar das empresas divulgarem resultados e benefícios da economia circular seguindo o que é divulgado pela literatura, pouco se apresenta dados que comparam o antes e depois da adoção de ações benéficas a economia circular, também não apresenta a forma que essas mudanças foram implementadas ou características de como ocorreu esse processo. Os *websites* e relatórios de sustentabilidade apresentam o compromisso de uma forma mais geral, e de certa forma a divulgação ocorre mais como marketing para promover ações da empresa e apresentar sua dedicação ao mercado.

5. Conclusão

O artigo teve como objetivo analisar as ações ligadas à Economia Circular que estão sendo comunicadas/divulgadas por empresas do setor de energia fotovoltaica. As empresas ENEL e ACCIONA estão presentes entre as 100 melhores organizações no mundo de acordo com importantes índices de sustentabilidade, e analisar essas empresas de acordo com suas divulgações em relatórios de sustentabilidade e websites corporativos, mostrou uma maior dimensão dos compromissos na prática.

O estudo de caso nas empresas revelou participação em ações de sustentabilidade, os ODS's assim como a redução das emissões afetam um maior número de *stakeholders*, e o compromisso auxilia na geração de valor para a empresa. A inovação dos produtos é visível ao fazer a análise da economia circular, setores de pesquisa e desenvolvimento de produtos buscam melhorar características dos produtos através de mudanças de design.

As ações de economia circular e seus resultados divulgados pelas empresas segue o que é divulgado pela literatura, e as ações remetem ao facilitador (v) de desenvolvimento potencial de novas tecnologias de reciclagem, infraestrutura e viabilidade técnica da reciclagem por meio do design ecológico descrito por (SALIM et al., 2019) no gerenciamento das placas fotovoltaicas. Entretanto, a forma de divulgação não apresenta detalhes de como as ações foram tomadas, assim como falta clareza na divulgação dos resultados. Outra característica é a referência da ação com a economia circular, onde muitas das ações estão ligadas aos princípios, mas essa referência explícita não ocorre nos relatórios.

Por fim, podemos verificar que as empresas estão buscando cumprir acordos ou características sustentáveis, entretanto falta maior aprofundamento das organizações em melhorar os fluxos de recursos no que se refere ao setor de energia solar, visto o aumento da demanda dessa tecnologia

para as próximas décadas e o impacto dos seus materiais com descarte inadequado no ambiente. A falta de informações mais detalhadas sobre as ações praticadas limita o aprofundamento dos estudos, e com isso os resultados apresentados são de certa forma gerais no âmbito organizacional. Pesquisas futuras poderiam identificar e sugerir novas ações da economia circular no setor, pois é visível o aumento da demanda da tecnologia e poucas ações ou pesquisas para melhorar os fluxos de recursos no setor fotovoltaico.

6. Referências

- ACCIONA, S. A. D. DE I. C. Y M. G. **2018 Acciona Sustainability Report**. [s.l: s.n.].
- ANNICK ANCTIL; FTHENAKIS, V. Critical metals in strategic photovoltaic technologies: abundance versus recyclability. **Ieee Trans Fuzzy Syst**, v. 20, n. 6, p. 1114–1129, 2012.
- BELZ, F. M.; BINDER, J. K. Sustainable Entrepreneurship: A Convergent Process Model. **Business Strategy and the Environment**, v. 26, n. 1, p. 1–17, 2017.
- BETANCOURT MORALES, C. M.; ZARTHA SOSSA, J. W. Circular economy in Latin America: A systematic literature review. **Business Strategy and the Environment**, v. 29, n. 6, p. 2479–2497, 2020.
- BOCKEN, N. M. P. et al. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 5, p. 308–320, 2016.
- BYD COMPANY LIMITED. **2019 BYD Sustainability Report**. [s.l: s.n.].
- DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. Viabilidade Econômica De Sistemas Fotovoltaicos No Brasil E Possíveis Efeitos No Setor Elétrico. **Ipea**, p. 1–42, 2018.
- EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **The Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532, out. 1989.
- ELKINGTON, J. Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. **Environmental Quality Management**, v. 8, n. 1, p. 37–51, 1998.
- ENEL GROUP. **2019 Enel Sustainability Report**. [s.l: s.n.].
- FARRELL, C. C. et al. Technical challenges and opportunities in realising a circular economy for waste photovoltaic modules. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 128, n. February, 2020.
- FRANCO, M. A. A system dynamics approach to product design and business model strategies for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, p. 118327, 2019.
- KERDLAP, P.; LOW, J. S. C.; RAMAKRISHNA, S. Zero waste manufacturing: A framework and review of technology, research, and implementation barriers for enabling a circular economy transition in Singapore. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 151, n. August 2018, p. 104438, 2019.
- MAY, G. J.; DAVIDSON, A.; MONAHOV, B. Lead batteries for utility energy storage: A review. **Journal of Energy Storage**, v. 15, p. 145–157, 2018.
- MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.
- MORIOKA, S. N. et al. Transforming sustainability challenges into competitive advantage: Multiple case studies kaleidoscope converging into sustainable business models. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p.

723–738, 2017.

PARCHOMENKO, A. et al. Measuring the circular economy - A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 200–216, 2019.

REIM, W.; PARIDA, V.; ÖRTQVIST, D. Product-Service Systems (PSS) business models and tactics - A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 61–75, 2015.

REN21. **Renewable 2020 Global Status Report**. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<[https://abdn.pure.elsevier.com/en/en/researchoutput/ren21\(5d1212f6-d863-45f7-8979-5f68a61e380e\).html](https://abdn.pure.elsevier.com/en/en/researchoutput/ren21(5d1212f6-d863-45f7-8979-5f68a61e380e).html)>.

SALIM, H. K. et al. Drivers, barriers and enablers to end-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 537–554, 2019.

SCHALTEGGER, S.; HANSEN, E. G.; LÜDEKE-FREUND, F. Business Models for Sustainability: Origins, Present Research, and Future Avenues. **Organization and Environment**, v. 29, n. 1, p. 3–10, 2016.

TOLIO, T. et al. Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 66, n. 2, p. 585–609, 2017.

VAN LOON, P.; VAN WASSENHOVE, L. N. Transition to the circular economy: the story of four case companies. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 11, p. 3415–3422, 2020.

XU, Y. et al. Global status of recycling waste solar panels: A review. **Waste Management**, v. 75, p. 450–458, 2018.