

A GESTÃO AMBIENTAL NO CEARÁ: OPORTUNIDADES E DESAFIOS COM A CHEGADA DO HUB DE HIDROGÊNIO VERDE

THIAGO NORONHA PINTO

MÔNICA CAVALCANTI SÁ DE ABREU

HANNA ROCHA DE ARRUDA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

BRÍGIDA MIOLA

FABIANNE ROBERTA DE ARAÚJO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

Resumo

Com o avanço das estratégias sustentáveis e de baixa emissão de carbono, o mercado de hidrogênio verde tem ganhado força a partir de políticas que buscam acelerar a transição energética em diversos países. A capacidade de armazenamento do hidrogênio, e consequente transporte, permitem que países com poucas fontes energéticas sustentáveis importem energia limpa. Com o anúncio do projeto do HUB de Hidrogênio Verde pelo Governo do Estado do Ceará, em fevereiro de 2021, muito tem se falado sobre as oportunidades e os desafios de expansão industrial no estado dentro da cadeia de suprimentos (CS) do hidrogênio verde. Entendendo que as atividades desenvolvidas ao longo de uma CS, em cada estágio do ciclo de vida de um produto, têm potencial de causar impactos ambientais, sociais e econômicos e que a sustentabilidade é uma preocupação crescente no gerenciamento de CS, esse ensaio buscou relacionar a literatura sobre Gestão Sustentável de Cadeias de Suprimento (GSCS) com o projeto do HUB. Foi possível mapear oportunidades para a gestão ambiental, dentre as quais destacam-se: avanço em tecnologia verde; fomento de pesquisas; desenvolvimento de cadeias de produção sustentáveis. Como desafios, destacam-se: falta de legislações e normas; impactos socioambientais dos parques eólicos; ambiente de negócios pouco sustentável.

Palavras Chave

Hidrogênio Verde, Energias Renováveis, Gestão Sustentável das Cadeias de Suprimento

A GESTÃO AMBIENTAL NO CEARÁ: OPORTUNIDADES E DESAFIOS COM A CHEGADA DO HUB DE HIDROGÊNIO VERDE

RESUMO: Com o avanço das estratégias sustentáveis e de baixa emissão de carbono, o mercado de hidrogênio verde tem ganhado força a partir de políticas que buscam acelerar a transição energética em diversos países. A capacidade de armazenamento do hidrogênio, e consequente transporte, permitem que países com poucas fontes energéticas sustentáveis importem energia limpa. Com o anúncio do projeto do HUB de Hidrogênio Verde pelo Governo do Estado do Ceará, em fevereiro de 2021, muito tem se falado sobre as oportunidades e os desafios de expansão industrial no estado dentro da cadeia de suprimentos (CS) do hidrogênio verde. Entendendo que as atividades desenvolvidas ao longo de uma CS, em cada estágio do ciclo de vida de um produto, têm potencial de causar impactos ambientais, sociais e econômicos e que a sustentabilidade é uma preocupação crescente no gerenciamento de CS, esse ensaio buscou relacionar a literatura sobre Gestão Sustentável de Cadeias de Suprimento (GSCS) com o projeto do HUB. Foi possível mapear oportunidades para a gestão ambiental, dentre as quais destacam-se: avanço em tecnologia verde; fomento de pesquisas; desenvolvimento de cadeias de produção sustentáveis. Como desafios, destacam-se: falta de legislações e normas; impactos socioambientais dos parques eólicos; ambiente de negócios pouco sustentável.

Palavras-chave: Hidrogênio Verde, Energias Renováveis, Gestão Sustentável das Cadeias de Suprimento.

1 INTRODUÇÃO

Mundialmente, a fonte energética mais utilizada para a produção de energia elétrica é proveniente de fontes fósseis e não renováveis como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural (FREITAS; DATHEIN, 2013). A dependência dessas fontes gera duas preocupações: o esgotamento, visto que se trata de uma fonte não renovável, e a emissão de gases tóxicos e poluentes (IEL, 2017; NICITA et al., 2020). Autores como Drumm et al. (2014) e Nascimento (2017) evidenciam que dentre os gases liberados para a atmosfera no processo de obtenção de energia elétrica a partir de fontes fósseis, os mais preocupantes são os Gases do Efeito Estufa (GEE), principalmente o Gás Carbônico (CO₂) e o Metano (CH₄), que têm acarretado no aquecimento global e nas mudanças climáticas.

A crescente cobertura da mídia sobre as mudanças climáticas, seus efeitos e as estratégias de mitigação, somados à pressão de órgãos reguladores, sociedade civil e outros stakeholders mostram-se como influências significativas na redução de emissões de GEE (DAMERT; BAUMGARTNER, 2018). À medida que os impactos climáticos se tornarem mais aparentes, eles afetarão a estrutura e o funcionamento de nossas cadeias de valor e indústrias (HOWARD-GREENVILLE, J et al., 2014), inclusive as indústrias de produção energética, visto que a forma como a energia é produzida está na origem de problemas ambientais (ZHANG et al., 2019).

O setor mundial de energia enfrenta dois grandes problemas: o crescimento da demanda de energia — esperado que aumente 40% até 2040 — e as preocupações ambientais (IEA, 2017). Com o Acordo de Paris, assinado em 2016, e a entrega de novas metas climáticas de 2020, conhecidas como Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), a pressão para que os países signatários do acordo tenham metas audaciosas de descarbonização de suas matrizes elétrica e energética aumenta à medida que os prazos estão pré-determinados (DELGADO; DA COSTA, 2021). O desafio é aumentar a disponibilidade e reduzir as emissões de GEE, significando reduzir o uso de combustíveis fósseis.

É um consenso que as Fontes Renováveis de Energia (FREs) — principalmente hidráulica, eólica, solar e biocombustível — têm desempenham um papel fundamental na diminuição das emissões de GEE (NICITA et al., 2020). Diversos países têm implementado estratégias para o fomento dessas indústrias energéticas e a previsão é de que as FREs correspondam a 40% da matriz energética global até 2040, sendo o percentual atual 14%. A estimativa é que, na União Europeia, até 2030, as FREs serão responsáveis por 80% da nova capacidade energética, em especial a energia eólica devido ao crescimento dos segmentos *onshore* (parques eólicos terrestres) e *offshore* (parques eólicos marítimos) que se tornará a principal fonte de eletricidade na região (IEA, 2017).

É importante destacar que a geração de energia a partir de FREs também apresenta limitações, como, por exemplo, ser altamente dependente do clima, o que resulta em: instabilidade dos sistemas de energia e incompatibilidade entre fornecimento e demanda (NICITA et al., 2020). As energias renováveis, principalmente a eólica e solar, têm potencial de causar superávit momentâneo de energia. Uma solução possível mostra-se no investimento em pesquisas e em tecnologias de armazenamento de energia, (armazenamento de energia de ar comprimido, baterias, etc.), o que têm se mostrado uma tendência na literatura científica (NICITA et al., 2020). Dentre essas pesquisas, o armazenamento de Hidrogênio (H₂) é visto como uma solução promissora para armazenar energia excedente, devido à sua flexibilidade, alcance de usos e sua obtenção possível através de procedimentos verdes: com zero ou baixa emissão de carbono (LOPEZ et al., 2015).

Por sua vez, a capacidade de armazenamento do H₂ fomenta o mercado de exportação de energia verde. Nicita, Squadrito e Maggio (2019) explicam que muitos países não têm capacidade de produção de energia através de FREs suficientes para suprir suas demandas, devido a características morfoclimáticas, restando-lhes, como opção para a descarbonização econômica, a importação de energia, sendo o Hidrogênio Verde (H₂V) uma solução para esses países e uma oportunidade para países com alto potencial de geração energética por meio de FREs, como o Brasil (NASCIMENTO, 2017; NICITA et al., 2020).

Nesse contexto, o Governo do Estado do Ceará, em parceria com Federação das Indústrias do Ceará (FIEC), Universidade Federal do Ceará (UFC) e Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), lançou, em 19 de fevereiro de 2021, o HUB de Hidrogênio Verde, ao assinar um memorando de entendimento com a multinacional australiana Enegix Energy, que prevê um investimento de US\$ 5,4 bilhões de dólares na construção de uma planta de produção de H₂V através de eletrólise utilizando FREs (principalmente, eólica e solar) no processo. O Governador do Estado do Ceará, Camilo Santana, acredita que a planta de produção de H₂V é um marco para a economia do Ceará, com grandes possibilidades de atração de indústrias e investimentos para o estado (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2021a).

Desde então, o Governo do Ceará assinou memorandos de entendimento com outras três empresas interessadas em compor o projeto do HUB de Hidrogênio Verde: Fourtsue, Qair e Neoenergia. Os projetos acrescentam US\$ 13,95 bilhões em investimentos no estado relacionados à cadeia produtiva de H₂. O projeto da Qair prevê, além da construção de uma planta de H₂V, um parque eólico *offshore*, um tipo de empreendimento inexistente no estado, até o momento (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2021g).

A multinacional White Martins também mostrou interesse em integrar o HUB de Hidrogênio Verde do Ceará e assinou um memorando de entendimento com o Complexo Industrial do Porto do Pecém, sem divulgar detalhes de investimento e capacidade energética (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2021b).

Em setembro de 2021, a multinacional EDP anunciou o início da implementação da primeira planta de H2V do Brasil, com início de operação previsto para 2022. Trata-se de um projeto piloto com capacidade energética de 1 MW que irá operar dentro da área que a empresa já ocupa no CIPP, onde funciona uma termelétrica (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2021c).

Conforme declarações do secretário de Desenvolvimento Econômico e do Trabalho do Ceará, Maia Júnior, há ainda 9 grandes grupos interessados em investir no HUB (QUINTELA, 2021). Conforme as atividades industriais podem causar diversos impactos ambientais (UNGC; BSR, 2010), inclusive a cadeia produtiva de energia eólica e solar (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017), é importante pensar quais soluções e estratégias sustentáveis acompanharão essa prevista expansão industrial no Ceará. Portanto, a fim de entender as possibilidades e os desafios da chegada do HUB de H2V no Ceará, esse ensaio busca relacionar a literatura sobre Gestão Sustentável das Cadeias de Suprimento com o projeto anunciado pelo Governo.

2 FUNDAMENTAÇÃO E DISCUSSÃO

Essa seção apresentará a literatura científica e a discussão conforme os subtópicos.

2.1 A Vez das Energias Renováveis

Como já citado, as energias renováveis são vistas como essenciais no processo de mitigação dos impactos ambientais e do aquecimento global (NICITA et al., 2020). É notável que as políticas dos principais países industrializados do mundo buscam aumentar a participação da energia gerada a partir de FREs em suas cadeias produtivas (IEL, 2017; NICITA et al., 2020). As previsões são de que os investimentos mundiais para a produção de energia elétrica até 2050 serão de aproximadamente 13,3 trilhões de dólares, sendo que as gerações de energia elétrica com zero emissão de carbono representam 80% desse investimento (BNEF, 2019).

O Brasil se destaca como potencial produtor de quatro FREs: hidráulica, biocombustível (o etanol, o biodiesel e o biogás), eólica e solar (NASCIMENTO, 2017). Segundo o último Balanço Energético Nacional (BEN, 2020), com dados de 2019, a matriz energética brasileira é composta por 46,1% de energia oriunda de FREs, principalmente biocombustível (31,9%), hidráulica (12,4%), e eólica (1,6%), valor muito maior do que o percentual global (14%).

Institucionalmente, o país tem evoluído em medidas de estímulo às energias renováveis. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), recentemente, lançou o *Sustainability Bond Framework* (SBF) visando estimular o mercado de crédito sustentável. Esse documento facilita a emissão pelo Banco de títulos verdes, sociais e sustentáveis. Dentre as categorias verdes, incluem-se empreendimentos geradores de energia renovável, principalmente eólica e solar (BNDES, 2021).

2.1.1 Energia eólica no Brasil e no Ceará

Atualmente, o Brasil possui mais de 16 GW de potência eólica instalada e em operação comercial, com isso, a participação da eólica na matriz elétrica brasileira saltou de 0,2% em 2002 para 8,6% em 2019, sendo a terceira fonte em capacidade instalada e a segunda dentre as renováveis. Até 2029 estima-se que esse número chegue a 17%, atingindo cerca de 40 GW de potência instalada (BEN, 2020; EPE, 2020).

Até junho de 2019, o Ceará possuía uma capacidade instalada de energia eólica de 2,05 GW distribuídos em 81 parques eólicos, sendo o terceiro estado no ranking nacional de capacidade instalada nessa fonte (CEARÁ, 2019).

As potencialidades do Ceará para a energia eólica são evidenciadas no Atlas Eólico e Solar do Ceará, publicado em 2019. O estudo aponta que, além dos ventos fortes, a região se destaca por

uma extensa plataforma continental com largura entre 40 e 100 quilômetros de baixa profundidade, chegando a ter mais 19 mil quilômetros quadrados de possíveis localidades para a instalação de parques eólicos *offshore*, uma tendência mundial (CEARÁ, 2019)

Parques eólicos *offshore* são uma tendência em decorrência de densidades de energia consideravelmente maiores do que 1,5 watt por metro quadrado comumente obtidas em parques eólicos *onshore* (POSSNER; CALDEIRA, 2017). A qualidade do vento para parques eólicos *offshore* é considerada alta em razão da baixa intensidade de turbulência e atrito no mar (ZHENG et al., 2016). Além disso, os autores indicaram que a aceitação pública pode ser maior para os parques eólicos offshore em comparação com os equivalentes terrestres, por conta da não ocupação de terras e poluição visual. Por outro lado, esses empreendimentos apresentam maior custo de implantação, operação e manutenção (ESTEBAN et al, 2011).

No momento, quatro dos sete projetos eólicos *offshore* em licenciamento no Brasil se localizam no Ceará, com projeção de produzir mais de 5 GW em energia nos próximos cinco anos; todos próximos da região metropolitana de Fortaleza e do complexo industrial do Pecém: Caucaia (1), Camocim (1) e Amontada (2) (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2020). O Atlas Eólico e Solar do Ceará apontou um potencial de 117 GW passível de ser instalada por empreendimentos eólicos *offshore* no Ceará (CEARÁ, 2019).

Outro fator apontado por especialistas como possível elemento de atração de parques eólicos para o Ceará é o fato de que, no estado, estão localizadas três plantas fabris de torres, pás e estruturas eólicas: a Aeris, a Wobben e a Vestas (CEARÁ, 2019).

Embora a energia eólica seja geralmente considerada ambientalmente amigável, a instalação de parques eólicos tem sido apontada como a causa da morte de aves que colidem com as turbinas e as pás e outras estruturas dos empreendimentos. Outros fatores também são citados: poluição sonora, poluição visual, alteração significativamente das características ecológicas e morfológicas dos ecossistemas onde se instalam (WANG; PRINN, 2010; MEIRELES, 2011).

Quanto à poluição visual, Wang e Prinn (2010) fazem uma ressalva ao indicar que a presença desses equipamentos pode causar uma reação subjetiva. Muitas pessoas olham a turbina eólica como um símbolo de energia limpa sempre bem-vindo, outras reagem negativamente à nova paisagem. Os autores acrescentam que efeitos do impacto visual têm sido minimizados, principalmente, com a conscientização da população local sobre a geração eólica através de audiências públicas e seminários.

No contexto do Ceará, pesquisas já foram realizadas nos municípios que receberam parques eólicos e os impactos socioambientais encontrados foram semelhantes aos estudos realizados em outras localidades. De acordo com Meireles (2011), durante a construção dos parques em Aracati, São Gonçalo do Amarante e Trairi foram identificadas alterações nesses ecossistemas: remoções de grandes volumes de areia com desmatamento e soterramento de dunas fixas; supressão de habitat e fragmentação dos ecossistemas locais; cortes e aterros de dunas fixas e móveis; fixação, impermeabilização e compactação de dunas móveis; e soterramento de lagoas. Meireles (2011) aponta que em Acaraú os moradores relatam dificuldade na obtenção de recursos dos manguezais, em razão da nova propriedade da terra, da construção de estradas de acesso e da remoção da vegetação associada ao desenvolvimento dos parques eólicos, representando uma ameaça para os meios de subsistência tradicionais. Isso vai de encontro ao que preconiza a Lei n.7.661/1988, que instituiu a Política Nacional de Gerenciamento Costeiro, pois ela não permite a instalação de empreendimentos, atividades ou qualquer modalidade de uso do solo na Zona Costeira que impeça ou dificulte o acesso às praias. Resultados similares foram encontrados em pesquisas realizadas na Praia das Fontes (EVANGELISTA et, al, 2013) e na comunidade do Cumbe (CHAVES; BRANNSTROM; SILVA, 2017).

A fim de diminuir esses conflitos com as populações, os empreendedores dos parques eólicos recorreram a promessas de medidas compensatórias e emprego permanente para obter o apoio das comunidades locais (MOREIRA et al., 2013). Mas, conforme apontado por Araújo (2015), há um descontentamento por parte dos residentes com os benefícios prometidos, pois não há uma geração significativa de empregos para além dos momentos de construção dos parques eólicos, ao contrário do que diziam os empreendedores ao promover seus investimentos.

Outro ponto que vem ganhando destaque no debate público e na literatura brasileira sobre energias renováveis é a destinação dos resíduos oriundos de parques eólicos desativados, principalmente por conta do envelhecimento dos primeiros parques instalados no país, estando próximos de alcançar 20 anos e alcance inicialmente previsto do tempo de vida útil dos equipamentos (EPE, 2021).

A *American Wind Energy Association* (2020) afirma que o aço, o cobre e outros metais, que compõem o maior volume de uma turbina eólica, possuem valor residual e podem ser reciclados. Knutson (2019) aponta que a maioria das partes elétricas e metálicas são recicladas, ao passo que as pás eólicas e lubrificantes, borracha, PVC e outros plásticos são descartados.

Estima-se que só os EUA terão mais de 700 mil toneladas de material de pás eólicas descartadas nos próximos 20 anos, sendo que o mundo pode vir a descartar milhões de toneladas conforme avança a tendência de adoção da energia eólica (BOMGARDNER; SCOTT, 2018). Se os parques brasileiros, ao serem desmontados, seguirem o que aconteceu, predominantemente, em outros países, a destinação das pás será o descarte em aterros (KNUTSON, 2019).

As pás dos aerogeradores são compostas por uma mistura de resina termofixa (frequentemente o epóxi) e fibra de vidro que, diferentemente de outros termoplásticos, não pode ser simplesmente derretida e reciclada. Tal característica faz das pás o maior desafio quando se pensa em destinação de resíduos dos parques eólicos (BOMGARDNER; SCOTT, 2018; INSTITUTE FOR ENERGY RESEARCH, 2019; EPE, 2021).

Machuca (2015) aponta que, desde a primeira década dos anos 2000, a disposição das pás eólicas em aterros sanitários foi desestimulada na Europa. A Alemanha, por exemplo, em 2005, proibiu o descarte de polímeros reforçados com fibra de vidro em aterros sanitários (LARSEN, 2011). Já o *Institute for Energy Research* (2019) recomenda que as pás devem ser recortadas antes de serem levadas a aterros, tendo em vista que a administração desses locais pode não ter capacidade de realizar essa quebra de estruturas.

Schreiner e Codonho (2018) ressaltam que a desativação dos parques eólicos, no Brasil, não é contemplada no licenciamento ambiental trifásico, ao contrário do que acontece, por exemplo, nos Estados Unidos, e os autores sugerem a criação de uma quarta fase de licenciamento com a emissão de licença de desinstalação para esse tipo de empreendimento. Segundo a *American Wind Energy Association* (2020), muitos governos estaduais e locais nos EUA exigem planos de descomissionamento para que haja a liberação de implementação de um parque eólico, cujo objetivo final é restaurar a área ocupada pelo parque de forma a retorná-la ao mais próximo possível das condições prévias à sua instalação.

Uma pesquisa recente da EPE (2021), ‘Empreendimentos eólicos ao fim da vida útil: situação atual e alternativas futuras’, destaca o descompromisso dos órgãos licenciadores com a questão da destinação dos resíduos dos parques eólicos, na contramão do que pontua a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305):

(...) Uma das diretrizes da PNRS é o estabelecimento da seguinte ordem de prioridade para destinação dos resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento, disposição final adequada de rejeitos (Art.9º). Tendo-se como parâmetro

os dispositivos da Lei, os resíduos sólidos gerados durante o descomissionamento e desativação de parques eólicos podem ser classificados, quanto à origem, em resíduos industriais (art. 13, inciso I, alínea f), estando os geradores desse tipo de resíduo sujeitos à elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos, como parte integrante do processo de licenciamento ambiental desses projetos (art. 20 a 24). Contudo, a análise de procedimentos de licenciamento ambiental de parques eólicos no Brasil mostrou que o descomissionamento desses empreendimentos não tem sido considerado pela maioria dos órgãos licenciadores, não sendo contemplado, portanto, nos planos de gerenciamento de resíduos elaborados pelos empreendedores (p. 18).

Considerando a tendência mundial de construção de parques eólicos *offshore* e os licenciamentos em andamento para a instalação desse tipo de empreendimento no Ceará, é válido destacar os impactos ambientais já mapeados para esse tipo de operação. Gill (2005) sinaliza que diferentes graus de distúrbios físicos podem ocorrer tanto durante as fases de construção e desmonte (perturbação do leito marinho) quanto na fase de operação (alteração dos movimentos das águas e dos padrões de disposição dos sedimentos e geração de ruídos), afetando a vida marinha.

Apresentadas as características da cadeia de produção de energia eólica no Ceará, é possível atestar que a prevista expansão dessa cadeia, estimulada pela chegada do HUB de Hidrogênio Verde, precisará da atenção de agentes públicos e privadas na gestão sustentável de suas operações, a fim de mitigar os impactos socioambientais desses empreendimentos no estado.

2.1.2 Energia Solar no Brasil e no Ceará

De acordo com o sumário executivo de perspectiva de novas energias da *Bloomberg New Energy Finance* a energia solar fotovoltaica é a energia que apresenta a maior tendência de crescimento mundial; em 2019 correspondia a 2% do total de geração mundial de eletricidade, com previsão de chegar a 22% em 2050 (BNEF, 2019).

Arantegui e Jager-Waldau (2017) relatam que em 2015 houve uma produção global de células fotovoltaicas com potência de geração entre 56 GW a 61 GW; já em 2016 a ficou entre 65-76 GW, mostrando o rápido crescimento de produção dos componentes fotovoltaicos.

O Brasil possui expressivo potencial para geração de energia elétrica a partir de fonte solar, contando com níveis de irradiação solar superiores aos de países onde projetos para aproveitamento de energia solar são amplamente disseminados, como Alemanha, França e Espanha (NASCIMENTO, 2017). Porém, há um gargalo devido à falta de incentivos nacionais para a produção da tecnologia no país, o que onera o preço dos equipamentos devido a necessidade de importação, principalmente da China (THUSWOHL, 2015).

A comercialização da energia solar por meio de leilões de energia eclodiu, no Brasil, em 2014 com a contratação de 31 empreendimentos fotovoltaicos (0,89 GW). A partir de 2017, usinas fotovoltaicas entraram em operação no país, em Santa Catarina, Bahia, Rio Grande do Norte, São Paulo, Minas Gerais e Paraíba. (EPE, 2018).

Até o fim de 2020, o Ceará tinha 170,9 megawatts (MW) em operação nas residências, comércios, indústrias, propriedades rurais e prédios públicos (ANEEL, 2021).

Em setembro de 2021, foi inaugurada o Parque Alex, da empresa Elera Renováveis. Com uma área de 830 hectares, entre os municípios de Limoeiro e Tabuleiro do Norte, o mais novo parque de energia fotovoltaica do Ceará tem capacidade instalada de 360 MW. É o maior até então em termos de potência e número de módulos de placas solares no estado, triplicando o potencial no Ceará (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2021e).

Também em setembro de 2021, a companhia de alimentos BRF anunciou o fechamento de um contrato com a Pontoon para a construção de um parque de energia solar nos municípios Mauriti e Milagres com capacidade instalada de 320 MW e 1.170 hectares. De acordo com a empresa, o investimento estimado no projeto é maior que R\$ 1 bilhão (CAVALCANTE, 2021).

Conforme dados da Aneel (2021), existem 68 projetos de energia solar centralizada em construção no Ceará, somando 2,3 GW de potência à capacidade instalada no Estado.

Ainda sobre a expansão da cadeia produtiva de energia eólica no Ceará, o Governo do Ceará assinou, em junho de 2021, memorando para instalação de fábrica de geradores de energia solar no Complexo do Pecém. Além da instalação do complexo de fabricação de geradores de energia solar, também será implementada uma unidade produtora de sistemas fotovoltaicos e um centro de distribuição (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2021f).

Em relação às usinas solares, a problemática principal apontada na análise dos impactos ambientais causados pelos empreendimentos é a do descarte de resíduos sólidos, considerando que os materiais que compõem os painéis e outros equipamentos do sistema fotovoltaico, bem como as baterias, são altamente prejudiciais ao ambiente e de difícil reciclagem (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017), e também sujeitos a um ciclo de vida estimado em 20 a 30 anos (TOLMASQUIM, 2004). Tolmasquim (2004) cita também a ocupação de área para implementação do projeto e possível perda de habitat, que podem ser minimizados em função da escolha de áreas não-sensíveis.

2.2 Gestão Sustentável das Cadeias de Suprimento

Numa tentativa de resposta às preocupações ambientais expressas pela opinião pública e partes interessadas, bem como para mudar as culturas de negócios, muitas empresas têm estimulado iniciativas verdes através da GSCS (WU; PAGELL, 2010).

As organizações são cobradas a prestar contas sobre sua conduta em cada estágio ao longo de toda a CS (UNGC; BSR, 2010). Portanto, a sustentabilidade na CS é um componente necessário para organizações conduzirem seus processos de produção de forma responsável (CARTER et al., 2019; UNGC; BSR, 2010).

O *Business Guide to a Sustainable Supply Chain* (Guia Empresarial para uma Cadeia de Suprimentos Sustentável), desenvolvido pelo Conselho Empresarial da Nova Zelândia para o Desenvolvimento Sustentável, define o conceito de Cadeia de Suprimentos Sustentável como: Gestão das matérias-primas e serviços de fornecedores para o fabricante/prestador de serviço e para clientes, ou processo inverso, com a melhoria dos impactos sociais e ambientais explicitamente considerados (BGSSC, 2003).

O GSCS consiste em um conjunto das ações gerenciais específicas que são tomadas para tornar a CS mais sustentável (PAGELL; WU, 2009). Os autores salientam que a proatividade e o comprometimento diante de valores sustentáveis dependem do alinhamento entre os modelos de negócio e os elementos socioambientais, através da capacidade organizacional para inovar e da orientação gerencial para a sustentabilidade. Corroborando, Hoejmose et al. (2012) argumentam que o GSCM começa com a motivação verde da empresa.

Nesse contexto, as empresas passaram a gerenciar o desempenho ambiental dos fornecedores para garantir que seus produtos são produzidos e fornecidos em um contexto de produção sustentável (SEURING; MULLER, 2008), pois, para ser considerada sustentável, uma CS não deve causar danos aos sistemas naturais ou sociais (PAGELL; WU, 2009). Fischer et al. (2010) constatou que as normas de condutas e mecanismos de controle não garantem as mudanças necessárias nas práticas dos fornecedores; torna-se necessário um sistema de assistência e transferência de *know how* para a cadeia produtiva.

No Brasil, a pesquisa de Carvalho e Barbieri (2012) evidencia que a gestão de risco e desempenho de fornecedores da empresa Natura promoveu a indução e a implementação de novas práticas voltadas à sustentabilidade em diferentes agentes da CS. Na gestão da CS a empresa adotou critérios socioambientais na gestão, no desenvolvimento e na avaliação de fornecedores, bem como a avaliação de ciclo de vida de produtos e incrementos em comunicação. A exemplo disso, a exigência de certificações ambientais no processo de qualificação de empresas fornecedoras, favoreceu mutuamente as empresas da cadeia criando oportunidades de negócio (internacionais) e o estreitamento de relacionamentos com as comunidades locais (extração matéria-prima natural). Os relacionamentos de longo prazo e o trabalho conjunto da empresa focal e fornecedores em P&D propiciaram inovação em materiais e em produtos (a exemplo da linha Ekos).

No contexto do HUB do Hidrogênio Verde no Ceará e, conforme anunciado pelos gestores, o projeto venha a atrair empresas para o CIPP, interessadas na economia de H2V, a gestão do HUB irá trabalhar como um agente influenciador da cooperação entre as organizações em prol de soluções sustentáveis na cadeia de produção? A gestão do HUB se sentirá corresponsável pelo impacto ambiental causado pelos empreendimentos atraídos por ele?

Sendo o projeto do HUB de Hidrogênio Verde uma iniciativa fundamentada no compromisso ambiental, como ocorrerá a gestão de CS dessa produção? As empresas aplicarão critérios ambientais rígidos na seleção de fornecedores? A empresa exigirá transformações nas práticas e na gestão socioambiental de seus fornecedores em prol da sustentabilidade ao longo da cadeia produtiva? Qual o impacto dessa possível gestão de risco e desempenho de fornecedores no ambiente empresarial cearense?

Esses são alguns questionamentos que se deve ter em mente ao se pensar na implementação de um projeto como esse num ambiente de negócios como o do Ceará.

2.3 O HUB de Hidrogênio Verde no Ceará

O conceito de H2V, embora que ainda não haja um consenso dos critérios de produção desse gás que o classifiquem como verde, já é bastante utilizado em estudos científicos, legislações governamentais e comunicações do mercado. Em geral, entende-se que o H2V seja àquele produzido através de um método de eletrólise cuja energia consumida seja oriunda de FREs, particularmente eólica e solar (NICITA et al., 2020; EPE, 2021), por apresentarem impactos ambientais mínimos se comparadas a outras fontes de energia, principalmente, quanto à emissão de GEE (DIAS et al., 2017).

A chamada 'Economia do Hidrogênio' vem ganhando destaque nos últimos anos. A União Europeia, em geral, e a Alemanha, em particular, já anunciaram políticas para financiar investimentos em plantas de H2 em outros países a fim de contribuir para a consolidação de mercado mundial de H2 para fins energéticos (EPE, 2021). O H2 passou a ganhar relevância no setor de energia, principalmente por conta dos planos da União Europeia ao incluir o H2 no *European Green Deal*, o plano de desenvolvimento sustentável europeu para as próximas décadas (EUROPEAN COMMISSION, 2020).

No Brasil, o reconhecimento da importância e das possibilidades da economia do H2 é recente e tardio, se comparado a outros países. A partir de 2018, com a publicação do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE), aprovado em dezembro de 2020 pelo Ministério de Minas e Energia (MME), o H2 passou a compor a estratégia energética brasileira (EPE, 2018). Apesar de tal movimento, observa-se que o país, apesar de seu potencial declarado e da recente PNE, ainda não apresenta uma estratégia específica para regulação, produção, consumo, transporte, estocagem, e exportação que permita uma clara e segura inclusão do H2 no planejamento

energético e na matriz energética do país, diferentemente de outros países do mundo, o que pode acarretar em atrasos para a implementação das plantas brasileiras (DELGADO; DA COSTA, 2021).

Um levantamento do PNE aponta o potencial do Nordeste como produtor de H₂ no Brasil (maior produção em nível nacional), principalmente por conta das possibilidades das energias eólica (regimes de vento) e solar (irradiação), aliadas à complementaridade energética das hidrelétricas (EPE, 2018).

Porém, existe uma série de desafios a serem enfrentados, especialmente em relação aos custos de produção do H₂ com baixa ou nenhuma emissão de carbono e os altos investimentos em pesquisa e tecnologia (NICITA et al, 2020).

Os componentes de custo com eletricidade representam as maiores oportunidades de redução do valor do H₂, sendo, num cenário de grande aproveitamento de fontes de energias renováveis e consequente aumento de disponibilidade energética, possível baratear a eletricidade e o custo final do H₂ (HYDROGEN COUNCIL, 2021).

A *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF, 2020) estima que as reduções de custos para a produção de H₂ de FREs deve se tornar mais competitiva até 2030, ampliando sua vantagem sobre o H₂ de fontes fósseis até 2050. Mais recentemente, o Hydrogen Council (2021) apontou a aceleração da tendência de queda nos custos de produção do H₂ de FREs (60% de redução de 2020 a 2030). Segundo o documento, a indiferença no preço do H₂ verde e do cinza pode ocorrer entre 2028 e 2034.

A vantagem competitiva do Ceará enquanto produtor de H₂V vem justamente de seu potencial em relação às FREs e o barateamento dessa *commodity* energética (CEARÁ, 2019).

Com o HUB de Hidrogênio Verde do Ceará tendo atraído, até então, intenções de investimentos de quase US\$ 20 bilhões em plantas de H₂V, tornando-se um dos maiores projetos de produção de H₂V do mundo, e entendendo que essas plantas desencadearão a implementação de grandes parques eólicos e/ou solares de energia para sua alimentação, pode-se prever que a cadeia produtiva de energias renováveis no Ceará passará por grandes transformações quantitativas e tecnológicas nos próximos anos, podendo o estado se tornar uma referência mundial nessas tecnologias, atraindo empresas envolvidas em toda a cadeia de energias renováveis e de H₂, como indústrias de painéis solares, indústrias de componentes eólicos, desenvolvedores de baterias e tecnologias de transporte e armazenagem de gases.

O HUB também poderá atrair para o estado indústrias, ou processos industriais, que consomem H₂ em seus processos, como a produção do aço verde e da amônia verde para fertilizantes, além de empresas interessadas em projetos de mobilidade (NICITA et al, 2020).

O secretário de desenvolvimento econômico e trabalho do Ceará, Maia Junior, já declarou que o HUB demandará ampliação do Porto do Pecém, obras de infraestrutura para fornecimento de água e obras na infraestrutura de distribuição elétrica, com possibilidade de geração de centenas de milhares de empregos (SERPA, 2021).

É importante pensar no impacto que essa expansão da cadeia produtiva de energias renováveis, ampliação industrial e construções de infraestrutura causará no Ceará, tendo em vista os problemas socioambientais já relatados, por exemplos, na cadeia de parques eólicos *onshore* do estado (MEIRELES, 2011; CHAVES; BRANNSTROM; SILVA, 2017) e nas falhas nos projetos de licenciamento dos parques eólicos no Brasil (SCHREINER; CODONHO, 2018; EPE, 2021). Para Dutra e Szklo (2008), em relação aos dos parques eólicos *onshore*, um planejamento adequado e a aplicação de novas tecnologias pode mitigar impactos socioambientais desses empreendimentos.

Conforme a perspectiva de Hoejmose et al. (2012) sobre a GSCS originar-se na motivação verde da empresa, pode-se entender que os as plantas de H2V já nascem como modelos de negócio verde (são sua razão de ser) e a forma como essas empresas passarão a gerir seus fornecedores tem alto potencial de causar mudanças no ecossistema de negócios local, em relação à gestão ambiental, principalmente na cadeia de energias renováveis, cujas práticas estão aquém do que se observa em outros países, como, por exemplo, em relação às normas de descartes de pás eólicas.

Como aconteceu com a Natura e seus fornecedores, relatado no estudo de Carvalho e Barbieri (2012), há desafios e oportunidades que essa possível pressão pró-sustentabilidade pode causar no ecossistema de negócios do Ceará. Como atestado por Fischer et al. (2010), haverá necessidade de processos e ambientes que promovam uma transferência de tecnologias e conhecimentos dessas empresas produtoras de H2V para suas cadeias produtivas, podendo fomentar toda uma área de P&D nesses mercados. Além disso, o desenvolvimento de uma cadeia de H2V também pressiona por avanços necessários à padronização e certificação de indústrias e estimula parcerias com países que são referência no assunto (CÉSAR et al., 2019). Um maior monitoramento da cadeia produtiva, por parte dos produtores de H2V, pode demandar serviços especializados na área de reciclagem e descarte de materiais, podendo fomentar novos modelos de negócios e tecnologias, como relatado pelos estudos de Machuca (2015) e Bomgardner e Scott (2018). Uma destinação possível para as pás eólicas é a trituração e confecção de granulados que podem ser usados em pisos, paletes e tubulações e painéis resistentes a fogo e umidade (devido à presença da fibra de vidro) (BOMGARDNER; SCOTT, 2018). A incineração para o uso de geração de energia térmica é um caminho citado por Machuca (2015). A autora acrescenta que, tanto a reciclagem, quanto a incineração, demandam investimentos em pesquisa e em tecnologias de trituração, além de serem processo caros e em caráter experimental.

Quanto à possível expansão da atividade industrial no Ceará, desencadeada pelos altos investimentos e pela economia de H2 no estado, é necessário pensar no impacto desse crescimento industrial para o meio ambiente do estado, principalmente, diante de um cenário local desafiador de incipientes iniciativas empresariais com relação à gestão ambiental, como evidenciado por estudos, tais quais: Abreu et al. (2010); FIEC (2017); Silva, Abreu e Diógenes (2017); e Abreu, Mota e Vale (2020).

Para Abreu et al. (2010), as empresas localizadas no Nordeste do Brasil não reconhecem a importância da gestão dos impactos ambientais de longo prazo e assim, têm menos motivos para desenvolver estratégias verdes. No contexto das indústrias cearenses, essa realidade é confirmada pelo estudo realizado pela FIEC chamado ‘Bússola da Sustentabilidade: Perfil de Sustentabilidade Industrial do Ceará’: “(...) parte expressiva das indústrias está no estágio iniciante ou ainda não vê aplicabilidade das práticas de sustentabilidade para o seu negócio (FIEC, 2017, p. 70).

O estudo de Abreu, Mota e Vale (2020), ao investigar as barreiras para implementação de estratégias conjuntas de ecologia industrial no CIPP, como a simbiose industrial, constatou que a cooperação entre as empresas do CIPP é incipiente e as empresa do complexo não possuem mecanismos para realizar investimentos em pesquisa para o desenvolvimento de soluções técnicas da gestão de resíduos. Para os autores, as empresas não reconhecem a necessidade de utilização de estratégias de simbiose industrial.

Mas a problemática não é de responsabilidade apenas da iniciativa privada, a pesquisa de Silva, Abreu e Diógenes (2017) com o Poder Público, no Estado do Ceará, mostrou que as instituições

da arena pública não têm tido adequada atuação institucional em relação à gestão de resíduos sólidos produzidos nas empresas instaladas no CIPP.

O aterro sanitário que se encontra em operação atualmente, para onde boa parte das empresas do CIPP encaminham seus resíduos, é o ASMOC. Este aterro recebe diariamente cinco mil toneladas de resíduo, o que inclui não somente resíduos provenientes das indústrias do CIPP, mas também do município de Fortaleza e de Caucaia. O ASMOC encontrava-se, já em 2017, com capacidade de recebimento de resíduos comprometida, mas com processo de expansão prevista que o levaria a ter vida útil de dezessete anos (SILVA; ABREU; DIOGENÉS, 2017). Nesse cenário desafiador para implementações de práticas sustentáveis, é interessante pensar nas estratégias que virão a ser adotadas pelas empresas do HUB de Hidrogênio Verde do Pecém na perspectiva de estimular a sustentabilidade dentro do CIPP e na própria CS, estando, esta, concentrada no Ceará.

Além da expansão no ambiente de negócios, o HUB prevê diversas obras de infraestrutura com grande potencial e impacto ambiental em suas implementações (SERPA, 2021). A ampliação do Porto do Pecém e aumento do fluxo de navios na região, apresenta grande potencial de impactos socioambientais na região, como apontado por Koehler e Asmus (2010). Os autores citam que entre os principais componentes ambientais afetados pela atividade portuária estão: o ar; a água; ruído e vibrações; odor; topografia; hidrologia/oceanografia; fauna e flora aquáticas e terrestres; paisagem; aspectos socioculturais e aspectos socioeconômicos. A mitigação desses impactos, assim como estudos ambientais e ações sociais, devem estar no radar das empresas interessadas em integrar a cadeia de produção do H2V no Ceará, numa intenção de promover uma gestão sustentável de suas atividades.

Em relação aos impactos e conflitos socioculturais da cadeia produtiva de H2V no Ceará, é necessário pensar em estratégias de compensação desses impactos para a população, conforme visto que a geração de empregos nas localidades não tem sido percebida pela população como uma vantagem que compense outros transtornos (ARAÚJO, 2015).

Conforme o projeto do HUB prevê uma dessalinizadora para suprir a demanda das plantas de H2V, também é necessária rigorosa atenção na construção de pesquisas, normas e ferramentas de monitoramento dos impactos ambientais causados por tal empreendimento, visto que, conforme a Agência EFE (2019), o impacto potencial da salmoura (rejeito do processo de dessalinização) é muito grande. Mesmo quando descartada no mar, a salmoura pode aumentar a temperatura da água do mar e reduzir a quantidade de oxigênio na mesma, o que causa graves danos à vida aquática. Para Einav et al. (2002), os prejuízos aos ecossistemas marinhos se devem não só à alta concentração do rejeito, mas, também, à presença de compostos químicos que podem ser necessários ao pré-tratamento da água.

3 CONCLUSÃO

Mediante as discussões levantadas nesse ensaio, e o mapeamento dos principais impactos, desafios e oportunidades que a estruturação e a expansão da cadeia produtiva de H2V traz para o Ceará, pode-se concluir que se alcançou o objetivo aqui proposto de relacionar a literatura sobre GSCS com o projeto do HUB de Hidrogênio Verde.

Nesse estudo, foi possível apontar as principais oportunidades trazidas pelo HUB, onde se destaca a possibilidade de avanço tecnológico e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento no mercado cearense, sendo uma oportunidade para o estado se tornar uma referência em tecnologias verdes.

Além das oportunidades trazidas pelas implementações de infraestruturas e geração e empregos, vale destacar também o fomento e o aprimoramento da gestão ambiental nas cadeias produtivas, conforme o HUB venha a influenciar práticas sustentáveis entre os seus fornecedores. Nesse sentido, a parceria entre o Porto do Pecém e o Porto de Roterdã pode ser essencial nesse processo de mudança, visto que o último é uma referência mundial em processos de gestão de resíduos e mitigação de impactos ambientais (BAAS; BOONS, 2007).

Como desafio, foi possível identificar uma série de impactos socioambientais que as cadeias de produção de energia eólica já causam em comunidades cearenses, sendo apontado também, caminhos e estratégias de mitigação desses impactos e até de impactos potenciais da expansão desses empreendimentos.

Além disso, há também a problemática de transformação das práticas sustentáveis dentro do ambiente de negócios no Ceará, em específico dentro do CIPP, visto que o cenário é de descomprometimento tanto por parte dos negócios, quanto pela gestão pública.

Esse ensaio cita, também, os pontos de atenção que as obras de implementação de infraestrutura e ampliações devem ter para com os impactos ambientais, seja no aumento do fluxo portuário ou na implementação de uma planta de dessalinização no estado.

Dada a ausência de políticas públicas para o desenvolvimento do H2V no Brasil, é crucial a elaboração de estudo de risco para o processo de tomada de decisões econômicas, sociais e ambientais, de modo a considerar a gestão da CS (CESAR et al., 2019), visto que “A normatização em questão é relevante para proteger segurança e saúde públicas” (DELGADO; DA COSTA, 2021, p. 41). Nesse contexto, a ABNT vem discutindo a normatização de tecnologias de H2, da produção ao uso final, no âmbito da Comissão de Estudo Especial de Tecnologias de Hidrogênio - ABNT/CEE-067 (ABNT, 2021). Tais pontos são barreiras a serem consideradas para o funcionamento eficaz do HUB no Ceará, sendo necessária uma mobilização de agentes públicos do estado do Ceará pelo avanço da pauta nacionalmente, mas também uma oportunidade de desenvolvimento de políticas públicas sustentáveis dentro do estado.

A contribuição desse ensaio está no mapeamento das oportunidades e desafios para a gestão ambiental, numa perspectiva de GSCS, diante da implementação de um projeto como o do HUB de Hidrogênio Verde no Ceará. Como limitação desse estudo, pode-se citar a pouca disponibilidade de informações técnicas sobre o projeto do HUB.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT/CEE-067 - Comissão de Estudo Especial de Tecnologias de H2, 2021. Disponível em: www.abnt.org.br/cee-67.

ABREU, M.C.S.; BARLOW, C.; SILVA FILHO, J., SOARES, F. Structural reform and environmental proactivity: the case of brazilian companies. RAM, **Rev. Adm. Mackenzie**, v. 11, n. 4, São Paulo, July/Aug, 2010.

ABREU, M. C. S.; MOTA, R. C.; VALE, E. Identifying Barriers and Proposing a Roadmap to Develop Industrial Symbiosis Projects. **Revista de administração da UFSM**, v. 13, p. 517-534, 2020.

AGÊNCIA EFE. Estudo adverte para ameaça ambiental de usinas de dessalinização de água. **AGÊNCIA EFE**, 2019. Disponível em: www.efe.com/efe/brasil/patrocinada/estudo-adverte-para-amea-a-ambiental-de-usinas-dessaliniza-o-agua/50000251-3866809.

AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION. Decommissioning. **American Wind Energy Association**, 2020.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Unidades consumidoras com geração distribuída. **ANEEL**, 2021.

ARANTEGUI, R. L.; JÄGER-WALDAU, A. Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris Agreement. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Jun 2017.

ARAÚJO, J. C. H. As Tramas da Implementação da Energia Eólica na Zona Costeira do Ceará: legitimação e contestação da “energia limpa”. 185p. **Dissertação** (Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional) – UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

BAAS, L.; BOONS, F. The introduction and dissemination of the industrial symbiosis projects in the Rotterdam harbour and industry complex. **Int. J. Environ. Technol. Manag.**, v.7, n.5-6, p.551-577, 2007.

BEN - Balanço Energético Nacional. Relatório síntese: 2019. Rio de Janeiro, **BEN**, 2020.

BNDES. BNDES cria nova estrutura para emissão de bônus verdes, sociais e sustentáveis, com o apoio do BID. **Imprensa BNDES**, Brasília, 1 de abril de 2021.

BNEF - Bloomberg New Energy Finance. New Energy Outlook 2019. **BNEF**, 2019.

BNEF - Bloomberg New Energy Finance. Hydrogen Economy Outlook Key. **BNEF**, 2020.

BOMGARDNER, M. M.; SCOTT, A. Recycling renewables. Can we close the loop on old batteries, wind turbines, and solar panels to keep valuable materials out of the trash? **Chemical & Engineering News** 96: 15, CEN [online], 2018 Disponível em: <https://cen.acs.org/energy/renewables/Recycling-renewables/96/i15>.

CARTER, C. R. et al. Sustainable supply chain management: continuing evolution and future directions. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 50, p. 122-146, 2019.

CARVALHO, A., BARBIERI, J.C. Inovações socioambientais em cadeias de suprimento: um estudo de caso sobre o papel da empresa focal. **Anais do Simpósio de Gestão de Inovação Tecnológica. SIMPOI**, 2012.

CAVALCANTE, I. BRF vai construir usina solar no Ceará de R\$ 1,1 bilhão. **O POVO**, Economia, 17 de set de 2021.

CEARÁ. Atlas Eólico e Solar. **Agência de Desenvolvimento do Estado**, 2019.

CÉSAR, A. da S. et al. Hydrogen productive chain in Brazil: An analysis of the competitiveness' drivers. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 751-763, 2019.

CHAVES, L. O.; BRANNSTROM, C.; SILVA, E. V. Energia Eólica e a Criação de Conflitos: Ocupação dos Espaços de Lazer em uma Comunidade no Nordeste do Brasil. **Sociedade & Território**, v. 29, n.2, p. 49 - 60, 2017.

BGSSC - Business Guide to a Sustainable Supply Chain - A Practical Guide. **Conselho da Nova Zelândia para o Desenvolvimento Sustentável**, 2003.

DAMERT, M.; BAUMGARTNER, R. J. Intra-Sectoral Differences in Climate Change Strategies: Evidence from the Global Automotive Industry. **Business Strategy and the Environment**, 27(3), 265–281, 2018

DELGADO, F.; DA COSTA, A M. Os caminhos do país na construção da economia global do hidrogênio. **Revista Conjuntura Econômica**, v. 75, n. 03, p. 38-42, 2021.

DIAS, C. T. de C.; SILVA, W. K. de M.; FREITAS, G. P. de; NASCIMENTO, J. F. do. Energia solar no Brasil. **Inter Scientia**, Vol. 5, N° 1, ano 2017.

DRUMM, F.C. et al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18 n. 1, p. 66-78, 2014.

DUTRA, R. M.; SZKLO, A. S. Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. **Renewable Energy**, v. 33, p. 65-76, 2008.

EINAV, R.; HAMSSIB, K.; PERIYB, D. The footprint of the desalination processes on the environment. **Desalination**, Amsterdam, v.152, n.1-3, p.141-154. 2002.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Nacional de Energia – PNE 2050. **EPE**, Brasília, 2018.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Projetos eólicos nos leilões de energia. **EPE**, Brasília, 2020

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio. **EPE**, Brasília, 2021.

ESTEBAN, M. D.; DIEZ, J. J.; LÓPEZ, J. S.; NEGRO, V. Why offshore wind energy?, **Renewable Energy**, vol. 36, no 2, p. 444–450, 2011.

EUROPEAN COMMISSION. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. **EUROPEAN COMMISSION**, 23 pp, 2020.

EVANGELISTA, A. N. A.; COSTA, J. M.; GORAYEB, A. A parceria entre o acadêmico e o social: o caso da Praia das Fontes, litoral leste do Ceará, Brasil. **Anais: I congresso extension y sociedade** (Montevideo, Universidad de La República), p. 1-15, 2013.

FIEC – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ. Bússola da Sustentabilidade: Perfil de Sustentabilidade Industrial do Ceará. **FIEC**, Fortaleza/CE, 2017.

FISCHER, K.; HOBELSBERGER, C.; ZINK, K.J. Social Sustainability in Global Value Creation: Contributions of Ergonomics Interventions. In: **GfA (Eds.)**: Neue Arbeitsund Lebenswelten gestalten. 56 Kongress der GfA, March 24-26, pp. 449-452, 2010.

FREITAS, G.C.; DATHEIN, R. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. **Revista Nexos Econômicos**, v. 7, n. 1, p. 71-94, 2013.

GILL, A. B. Offshore renewable energy: ecological implications of generating electricity in the coastal zone. **Journal of Applied Ecology**, vol. 42, no 4, p. 605–615, 2005.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Ceará projeta produzir mais de 5 GW em energia eólica offshore nos próximos cinco anos. **GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**, Notícias, Fortaleza, Desenvolvimento. 10 de outubro de 2020, 2020. Disponível em: <https://www.sedet.ce.gov.br/2020/10/19/ceara-projeta-produzir-mais-de-5-gw-em-energia-eolica-offshore-nos-proximos-cinco-anos/>

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Complexo do Pecém detalha planejamento para implantar HUB de H2 Verde no Ceará. **GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**, Notícias, Fortaleza, Desenvolvimento. 31 de março de 2021, 2021a. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2021/03/31/complexo-do-pecem-detalha-planejamento-para-implantar-hub-de-hidrogenio-verde-no-ceara/> GWEC.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Complexo do Pecém e White Martins assinam Memorando de Entendimento para implantação do HUB de Hidrogênio Verde no Ceará. **GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**, Notícias, Fortaleza, Desenvolvimento. 19 de abril de 2021, 2021b. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2021/04/19/complexo-do-pecem-e-white-martins-assinam-memorando-de-entendimento-para-implantacao-do-hub-de-hidrogenio-verde-no-ceara/>.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Complexo do Pecém detalha planejamento para implantar HUB de H2 Verde no Ceará. **GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**, Notícias, Fortaleza, Desenvolvimento. 31 de março de 2021, 2021c. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2021/03/31/complexo-do-pecem-detalha-planejamento-para-implantar-hub-de-hidrogenio-verde-no-ceara/> GWEC.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Ceará receberá a primeira usina de hidrogênio verde do Brasil com operação já em 2022. **GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**, Notícias, Fortaleza, Desenvolvimento. 1 de setembro de 2021, 2021d. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2021/09/01/ceara-recebera-a-primeira-usina-de-hidrogenio-verde-do-brasil-com-operacao-ja-em-2022/>.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Novo parque solar entra em operação no Ceará, na Chapada do Apodi. **GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**, Notícias, Fortaleza, Desenvolvimento. 3 de setembro de 2021, 2021e. Disponível em: www.ceara.gov.br/2021/09/03/novo-parque-solar-entra-em-operacao-no-ceara-na-chapada-do-apodi/

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Governo do Ceará assina memorando para instalação de fábrica de geradores de energia solar no Complexo do Pecém. **GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**, Notícias, Fortaleza, Desenvolvimento. 25 de junho de 2021, 2021f. Disponível em: www.sedet.ce.gov.br/2021/06/25/governo-do-ceara-assina-memorando-para-instalacao-de-fabrica-de-geradores-de-energia-solar-no-complexo-do-pecem/

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Governo do Ceará e Neoenergia assinam memorando para estudos de viabilidade para projeto de transporte público movido a hidrogênio verde. **GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**, Notícias, Fortaleza, Desenvolvimento. 20 de setembro de 2021g. Disponível em: www.ceara.gov.br/2021/09/20/governo-do-ceara-e-neoenergia-assinam-memorando-para-projeto-de-transporte-publico-movido-a-hidrogenio-verde/

HOEJMOSE, S.; BRAMMER, S.; MILLINGTON, A. Green supply chain management: The role of trust and top management in B2B and B2C markets. **Industrial Marketing Management**, 41 (4), 609–620, 2012.

HOWARD-GREENVILLE, J et al. Climate Change and Management. **Academy of Management Journal** 2014, Vol. 57, No. 3, 615–623.

HYDROGEN COUNCIL. Hydrogen Insights: A perspective on hydrogen investment, Market development and cost competitiveness. **HYDROGEN COUNCIL**, 2021.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World energy 2017. **IEA**, Paris, 2017.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Tracking Energy Integration 2020. **IEA**, Paris, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/tracking-energy-integration-2020>.

INSTITUTE FOR ENERGY RESEARCH. The Cost of Decommissioning Wind Turbines is Huge. **INSTITUTE FOR ENERGY RESEARCH**, 2019.

KOEHLER, P. H. W.; ASMUS, M. L. Gestão ambiental integrada em Portos Organizados: uma análise baseada no caso do porto de Rio Grande, RS – Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, 10(2), 201-215, 2010.

KNUTSON, K. Wind farm repowering and decommissioning is big business. **Energy Central**, 2019.

LOPEZ, G.E.; ISORNA, L.F.; SILVA P.M.; ROSA I.F.; GUERRA, M.J. Energy evaluation of a solar hydrogen storage facility: comparison with other electrical energy storage technologies. **Int J Hydrogen Energy**, 2015;40(15):5518e25.

MACHUCA, M. N. **Análise ambiental, técnica e econômica da pós-operação de parques eólicos**. Florianópolis, 2015.

MEIRELES, A. J. A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais. **Confins (Paris)**, v. 11, p. 1-23, 2011.

MOREIRA, R. N.; VIANA, A. F.; OLIVEIRA, D. A. B.; VIDAL, F. A. B. Energia eólica no quintal da nossa casa? Percepção ambiental dos impactos socioambientais na instalação e operação de usinas na comunidade de sítio do Cumbe em Aracati-CE. **GeAS Revista de Gestão Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 45-73, 2013.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. **J Bus Ethics**, 140, 2017.

NASCIMENTO, R. L. Energia solar no Brasil: situação e perspectivas. **Câmara dos Deputados**, Brasília, 2017– Estudo Técnico, 46p.

NICITA A, SQUADRITO G, MAGGIO G. How the hydrogen production from RES could change energy and fuel markets: a review of recent literature. **Int J Hydrogen Energy**, 2019;44(23):11371e84.

NICITA et al. Green hydrogen as feedstock: Financial analysis of a photovoltaic- powered electrolysis plant. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2020.

PAGELL, M; WU, Z. Building a More Complete Theory of Sustainable Supply Chain Management Using Case Studies of 10 Exemplar. **J. of Supply Chain Management**, 2009.

POSSNER, A.; CALDEIRA, K. Geophysical potential for wind energy over the open oceans. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, 43, **Anais...**24 out. 2017.

QUINTELA, S. Ceará pode se tornar 'centro de excelência' para mercado mundial de hidrogênio verde, diz Frischtak. **Diário do Nordeste**, Negócios, 06 de ado de 2021. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/ceara-pode-se-tornar-centro-de-excelencia-para-mercado-mundial-de-hidrogenio-verde-diz-frischtak-1.3119725>

SCHREINER, G. H.; CODONHO, M.L.P.C.F. Descomissionamento Ambiental: análise da temática em empreendimentos de geração de energia eólica. In: Jornada de Integração Científica, 4^a, 2018, Florianópolis. **Cadernos de Iniciação Científica: Cesus**, 2018, v.3, n.1.

SERPA, E. Hidrogênio Verde: Maia Júnior prevê ampliação do Pecém. **Diário do Nordeste**, Opinião, 23 de ago de 2021.

SEURING, S.; MÜLLER, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, 16 (15), 2008.

SILVA, L. A.; ABREU, M. C. S.; DIOGENÉS, A. Gestão Pública de Resíduos Sólidos Industriais: Avaliação Institucional no Complexo Industrial e Portuário do Pecém, Ceará. **Anais: XIX Engema**, São Paulo, dezembro, 2017.

THUSWOHL, M. O desafio da energia limpa. **Revista Brasil**, 110, 2015.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes Alternativas de Energia no Brasil**. Ciência Moderna, 2004.

UNGC - UNITED NATIONS GLOBAL COMPACT. Supply Chain Sustainability: A Practical Guide for Continuous Improvement. **United Nations Global Compact**, 2010.

WANG, C.; PRINN, R. G. Potential climatic impacts and reliability of very large- scale wind farms. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 10, n. 4, p. 2053-2061, 2010.

WU, Z.; PAGELL, M. Balancing priorities: Decision-making in sustainable supply chain management. **Journal of Operations Management**, 29 (6), 577–590, 2010.

ZHANG, Y.; LIU, J.; ZHANG, J.; WANG, C. Study on the Development of Renewable Energy during "Post-Subsidy Period" in China. **Electric Power**, 52 (04), 1–7, 2019.

ZHENG, C. W.; LI, C. Y.; PAN, J.; LIU, M. Y.; XIA, L. L. An overview of global ocean wind energy resource evaluations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 53, 2016.