

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO E ARMAZENAMENTO DO HIDROGÊNIO VERDE OBTIDO POR ELETRÓLISE A PARTIR DE ENERGIA EÓLICA E SOLAR

Weverton Almeida da Silva¹ (IC), Rafael Silva Capaz (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Energia eólica, Análise do Ciclo de Vida, Pegada de carbono.

Introdução

De maneira geral, a elevada dependência de combustíveis fósseis e emissões de gases de efeito estufa (GEE) têm motivado a crescente busca de alternativas de energias renováveis. Neste contexto, a obtenção de hidrogênio a partir da eletrólise da água usando fontes renováveis de energia, como solar e eólica, é apresentado como uma forte tendência.

Segundo o relatório de status global de fontes renováveis de 2023 (GSR, 2023) a energia eólica correspondeu a 3% da demanda total de 640 EJ por energia primária. Por sua vez, segundo o balanço energético nacional (BEN, 2023) a energia eólica representou 11,8% da produção nacional de eletricidade, e é apresentada, eventualmente, como solução à produção de eletricidade com emissões aparentemente nulas de GEE. Salienta-se, no entanto, que para uma efetiva transição energética é fortemente sugerida a contabilização das emissões associadas ao longo do ciclo de vida do produto energético, incluindo, por exemplo, as etapas relacionadas à manufatura dos componentes do parque eólico e de seu transporte.

Assim, este trabalho fez uso da Análise do Ciclo de Vida (ACV) para estimar as emissões de GEE da geração de energia eólica produzida nos principais países produtores e considerando parques OS (on-shore) e OFF (off-shore) com diferentes capacidades instaladas. Da mesma forma, verificou-se a contribuição das etapas nos resultados totais. Vale salientar que este trabalho focou apenas na produção da eletricidade de fonte eólica, a ser eventualmente usada na produção de hidrogênio verde. Reconhece-se assim, que o escopo deste relatório se refere parcialmente ao título inicialmente proposto, ou seja, “Análise do Ciclo de Vida para a produção e armazenamento do hidrogênio verde obtido por eletrólise a partir de energia eólica e solar”. Após o início deste projeto de iniciação científica voluntária, outros alunos de graduação e mestrado, orientados pelo mesmo professor, têm-se dedicado à análise do desempenho ambiental de outras fontes de energia e processos para a obtenção de H₂.

Metodologia

Os processos de geração de energia eólica foram avaliados apenas para categoria de impacto de alteração climática – GWP100 (*Climate Change* – GWP100), contabilizados em gCO_{2e}/kWh, o que será denominado de “pegada de carbono”. A análise foi conduzida utilizando o software *OpenLCA*.

Segundo Barra e Teixeira (2022) atualmente, os detentores da maior capacidade instalada *on-shore* de energia eólica são China (39%), EUA (17%) e Alemanha (8%). Por sua vez, a região que contém a maior capacidade instalada de energia eólica *offshore* é o Reino Unido (29%) seguido pela China (28%) e Alemanha (22%).

Buscando representatividade para o estudo, foram selecionados inventários de energia eólica dos EUA, China e do Brasil. A fim de avaliar os inventários médios abrangendo os demais países, foram utilizados os inventários categorizados como *RoW* (Rest of World) pela base de dados EcoInvent v.3.3.

Para a China, EUA e Brasil foi identificado mais de um inventário devido à sua divisão por estados. Deste modo, para a China selecionou-se o inventário *CN – GD* (*China, Guangdong*), pois a partir da análise dos dados disponíveis na base EcoInvent foi identificado a existência de várias províncias e regiões para a China. Todavia, ao simular a geração de eletricidade eólica no software *OpenLCA*, verificou-se que a pegada de carbono era mantida diante da alteração das regiões localizadas na China. Por esta razão, foram selecionadas as referências ou processos categorizados pela região *CN-GD* pois continham mais dados em relação à etapa de instalação *onshore* (*OS*) e *offshore* (*OFF*). Para os EUA, *US – WECC* (*Western Electricity Coordinating Council, US part Only*), e para o Brasil, *BR – NE* (*Brazil, North-eastern grid*) *BR – SG* (*Brazil, Southern grid*) foram as referências escolhidas, respectivamente.

Para cada um dos inventários foram avaliados processos *OS* e *OFF* para as seguintes capacidades instaladas: i) menor que 1 MW, ii) entre 1- 3 MW, e iii) maior que 3 MW. Os inventários foram acessados pela base de dados

Ecoinvent (v 3.3).

Resultados e discussão

A fim de realizarmos uma análise dos países selecionados foi obtida a Tabela 1 de emissão de GEE. Pontua-se, todavia, que nem todos os inventários estavam disponíveis na base de dados Ecoinvent (v.3.3).

Tabela 1: Emissões de GEE (gCO_{2e}/kWh)

Região	OS			OFF		
	<1 MW	1-3 MW	> 3 MW	<1 MW	1-3 MW	> 3 MW
RoW	15,7	13,6	34,8		15,4	
CN - GD	20,6	21,3	37,7		15,4	
BR - NE		9,4				
BR - SG		15,3				
US - WECC	11,8	12,2	21,0			

De maneira geral, a energia eólica OS na China apresentou os maiores valores de pegada de carbono, variando de 21 a 38 gCO_{2e}/kWh.

Nota-se que no parâmetro brasileiro há uma discrepância entre eles, destacando um aumento de 63% em relação a emissão de GEE, onde se mostram diferentes e ainda mais capazes de melhoria ou de um método de escolha para compra de energia visando os créditos de carbono alocado. Da mesma forma, nota-se o aumento em torno de 72% a 156% da pegada de carbono quando se aumenta a potência da turbina, podendo estar alocada a diversos fatores que demandam uma análise mais aprofundada. Por fim, verificou-se que a geração OFF, mesmo com poucos inventários representativos apresentou valores próximos da geração ON na mesma faixa de potência, porém variando entre um aumento de 13% e uma diminuição de 28%.

A seguir, encontram-se os gráficos para cada cenário, nos quais foram classificados os 10 maiores contribuintes para o processo de geração de eletricidade. Nota-se que o comportamento entre os dados OS e OFF são distintos.

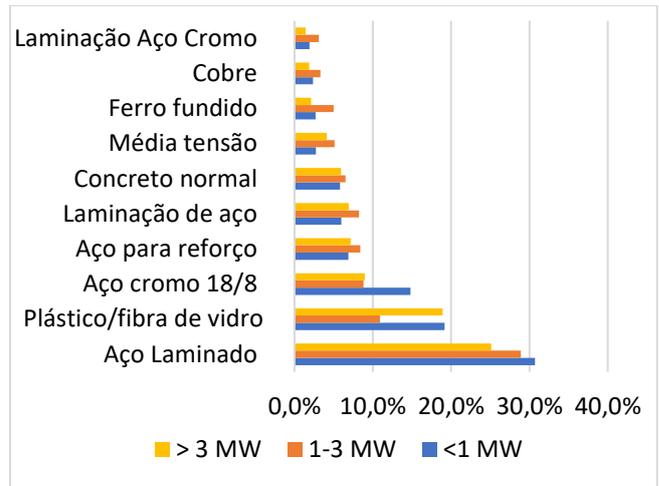


Figura 1 – Gráfico RoW – OS (Rest of World – onshore).

Comparando os principais contribuintes para RoW, nota-se que para as três categorias de potência das turbinas no OS o maior foi o aço laminado seguido do plástico reforçado e do aço cromo 18/8.

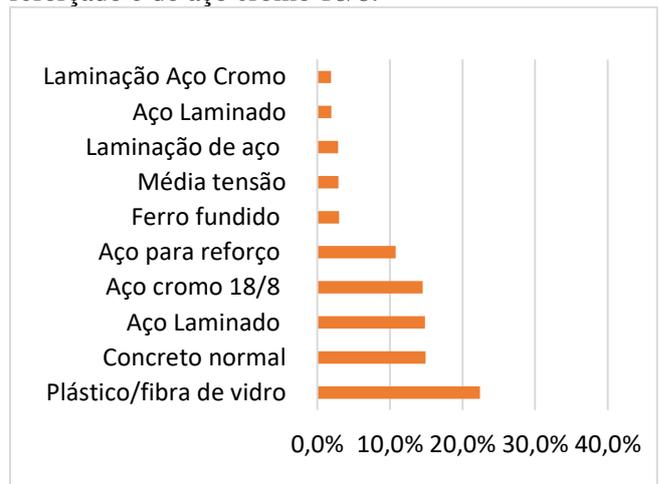


Figura 2 Gráfico RoW – OFF – 1 – 3 MW (Rest of World – off-shore).

Para o gráfico RoW - OFF, os seus principais contribuintes são o plástico reforçado, concreto normal, aço laminado e aço cromo. Com destaque para o concreto normal e plástico reforçado em diferenciação da tecnologia OS, pois devido a sua estrutura de implementação e fixação das torres estes dois são mais demandados.

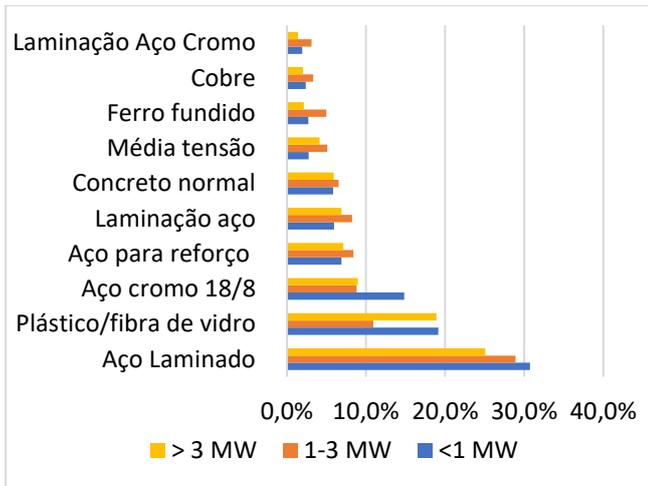


Figura 3 Gráfico CN - GD – OS (China, Guangdong – on-shore).

Na análise do gráfico CN - GD - OS, notou-se que para os dois primeiros contribuintes houve diferença entre a porcentagem de impacto esperado, pois em plástico reforçado para a faixa de turbina de 1 - 3 MW foi menor do que as outras duas faixas de potências comparadas, e o aço cromo 18/8 se mostrou mais impactante para turbinas < 1 MW.

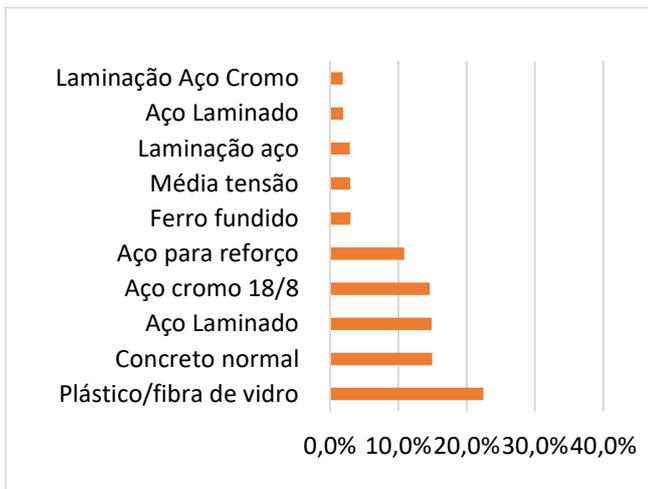


Figura 4 Gráfico CN - GD – OFF – 1 – 3 MW (China, Guangdong – off-shore).

Entretanto, analisando o gráfico CN - GD - OFF, ele se demonstrou similar, contudo, o concreto normal também apareceu sendo o maior contribuinte, levando a crer que seja devido a sua estrutura de construção.

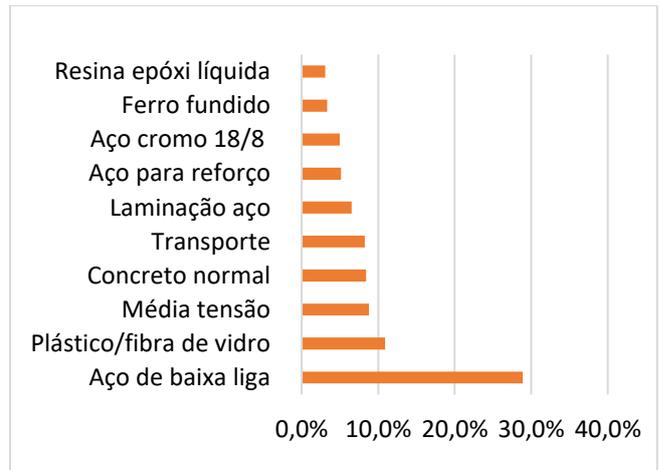


Figura 5 Gráfico BR – NE – 1 – 3 MW (Brazil, North-Eastern grid)

Ao compararmos os dois gráficos para âmbito brasileiro e lembrando os dados obtidos da pegada de carbono, notamos que todos os 10 maiores contribuintes são iguais, porém o resultante das emissões de GEE é 63% maior para a emissão da região sul do Brasil.

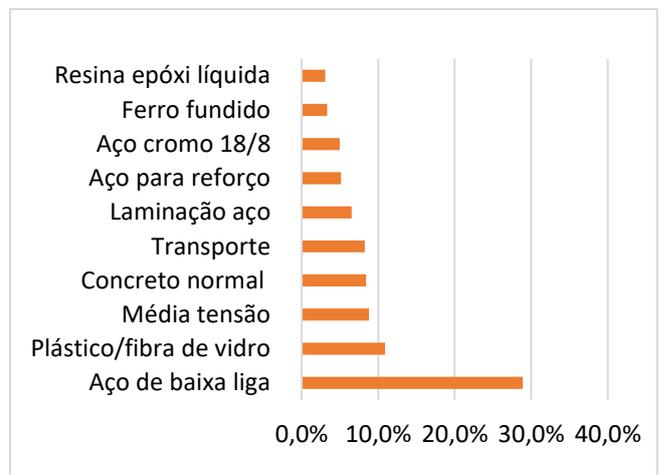


Figura 6 Gráfico BR – SG – 1 – 3 MW (Brazil, Southern grid)

Analisando o gráfico de BR - NE e BR - SG, onde ambos os cenários são de tecnologia OS, notamos uma distribuição semelhante entre os principais contribuintes, com destaque o aço de baixa liga, que representa quase 30% de toda a contribuição da cadeia para ambos os cenários.

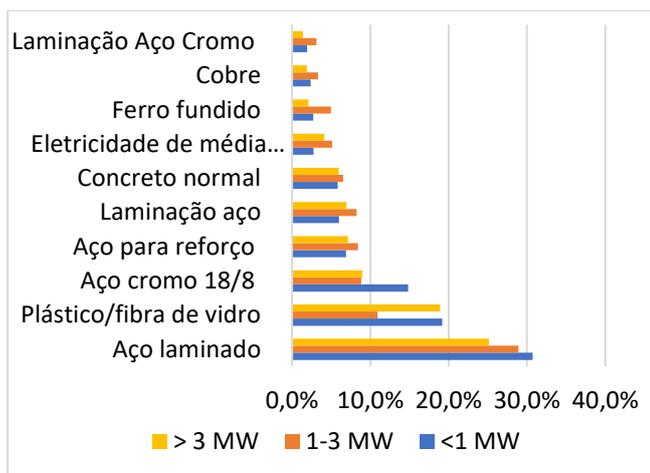


Figura 7 Gráfico US – WECC (Western Electricity Coordinating Council, US part Only)

Analisando o gráfico US - WECC, notamos uma similaridade gráfico CN - GD - OS, quanto aos três primeiros contribuintes, onde a contribuição entre as potências das turbinas mostra-se distintas, pois emitem quantidade de GEE diferente em todas as categorias de potência, mas são equivalentes entre si, já que os 6 maiores contribuintes são os mesmos. Ademais, o cenário brasileiro é o mais desprovido de base de dados, pois encontrou-se apenas para a faixa de 1 - 3 MW OS, tanto para NE e SG.

Conclusões

A análise atual da produção de energia eólica, utilizando a Análise de Ciclo de Vida (ACV), mostrou que as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) variam bastante entre diferentes regiões e tipos de turbinas. No entanto, é importante lembrar que as bases de dados usadas neste estudo têm suas limitações, como a falta de inventários atualizados e representativos para algumas áreas, especialmente no Brasil. Essas lacunas podem afetar os resultados, então futuras pesquisas devem focar em expandir e melhorar essas bases para obter uma visão mais precisa. Além disso, é necessário fazer análises de sensibilidade com os dados disponíveis para ver como mudanças nos parâmetros e suposições podem impactar os resultados. Isso é crucial para garantir que as conclusões sejam sólidas, mesmo com incertezas nos inventários. Por exemplo, a pegada de carbono de turbinas de diferentes potências pode variar bastante dependendo das especificidades regionais e da tecnologia usada, o que pode mudar a viabilidade ambiental de certos projetos. Assim, a ACV continua sendo uma ferramenta poderosa para mitigar impactos, mas deve ser complementada com estudos que considerem essas variações e incertezas para orientar decisões mais

eficazes.

Agradecimentos

À UNIFEI, especialmente ao Centro de Estudos de Qualidade Ambiental (CEQUAM), e ao professor Rafael Silva Capaz, vinculado ao projeto vinculados ao projeto PID1317-2022 Avaliação Teórico-Experimental da produção e uso de hidrogênio verde em Minas Gerais.

Referências

- ANEEL. Sistema de Informações de Geração da ANEEL SIGA. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWwM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNzQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 29 maio 2024.
- ARDENTE, F.; BECCALI, M.; CELLURA, M.; MISTRETTA, M. Life Cycle Assessment of Wind Turbines: A Comprehensive Analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 181, p. 981-992, 2018. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. Estatísticas de Capacidade Instalada. 2023. Disponível em: <http://www.abeeolica.org.br>. Acesso em: 14 maio 2024. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2006. BARRA, L.; TEIXEIRA, F. Capacidade instalada e produção de energia eólica. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 2022. GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. Global Wind Report 2023. 2023. Disponível em: <https://gwec.net/globalwindreport2023/>. Acesso em: 14 maio 2024.
- Ecoinvent. Ecoinvent database. Version 3.3 [Internet]. Zurich; 2016 [cited 2017 Jun 6]. Available from: <http://www.ecoinvent.ch/>
- GREEN DELTA. openLCA [software]. Versão 2.0.3 Berlin, 2006. Disponível em: <https://www.openlca.org/>. Acesso em: 03 jun. 2023.
- RITCHIE, Hannah; ROSADO, Pablo; ROSER, Max. Energy. Publicado em OurWorldInData.org, 2023. Disponível em: <https://ourworldindata.org/energy>. Acesso em: 30 maio 2024.
- WANG, X.; LIU, J.; LI, H.; LIU, C.; MA, X. Life Cycle Assessment of Wind Turbines in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 104, p. 68-82, 2019.