

ANÁLISE DA QUALIDADE PROCESSUAL DO ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL DE UMA PLANTA DE PRODUÇÃO DE AMÔNIA VERDE NO ESTADO DO CEARÁ

Vicente Elício Porfiro Sales Gonçalves da Silva¹
John Hebert da Silva Felix²

RESUMO

Atualmente, a crescente busca por fontes de energias mais limpas e sustentáveis tem crescido significativamente, trazendo diversas vantagens, como a redução nas emissões de gases do efeito estufa e a diversificação da matriz energética. No entanto, atividades de grandes portes, como plantas de produção de amônia verde, podem gerar inúmeros impactos ambientais. Assim, o licenciamento ambiental torna-se crucial, pois durante sua realização, são exigidos estudos ambientais, como o EIA/RIMA, para identificar e mitigar os prováveis impactos. Contudo, é imprescindível avaliar a conformidade desses estudos com o que é requerido pela legislação ambiental vigente. Diante disso, este estudo buscou avaliar a qualidade processual do EIA/RIMA de uma planta de produção de amônia verde a partir de hidrogênio verde, no estado do Ceará, Brasil. Para isso, 22 critérios foram estabelecidos para a análise do EIA e 14 critérios para o RIMA, ambos com base nas diretrizes impostas pela Resolução do CONAMA 01/1986. O EIA atendeu quase 77% dos critérios estabelecidos, apresentando o diagnóstico ambiental e a análise de impactos como pontos fortes, mas deixando lacunas no que se refere às alternativas tecnológicas e avaliação das medidas de mitigação. Já o RIMA perdeu a qualidade em relação ao EIA e atendeu a menos que a metade dos critérios elaborados, apresentando muitas fragilidades na descrição dos impactos. Isso reforça a necessidade de aprimorar a elaboração e a revisão desses documentos, garantindo que cumpram integralmente os requisitos legais e sirvam como ferramentas eficazes para a tomada de decisões no licenciamento ambiental, minimizando os impactos ambientais gerados pelos empreendimentos.

Palavras-chave: Energia limpa. Estudos Ambientais. Hidrogênio verde. Licenciamento Ambiental. Resolução CONAMA.

ABSTRACT

Currently, the search for renewable and sustainable energy sources has grown significantly, bringing numerous advantages, such as the reduction of greenhouse gas emissions and the diversification of the energy matrix. However, the implementation of projects, such as green ammonia production plants, can generate numerous environmental impacts. Therefore, environmental licensing becomes essential, as it requires environmental studies, such as the EIA/RIMA, to identify and mitigate such impacts. However, it is essential to assess the compliance of these studies with what is required by current environmental legislation. In view of this, this study sought to evaluate the procedural quality of the EIA/RIMA of a green ammonia production plant from green hydrogen, in the state of Ceará, Brazil. For this, 22 criteria were established for the analysis of the EIA and 14 criteria for the RIMA, both based

¹ Discente da Especialização em Gestão de Recursos Hídricos Ambientais e Energéticos, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), vicenteelicio@gmail.com.

² Docente do Programa de Pós-graduação, PGEA da UNILAB, johnfelix@unilab.edu.br.

on the guidelines imposed by CONAMA Resolution 01/1986. The EIA met almost 77% of the established criteria, presenting the environmental diagnosis and impact analysis as strong points, but leaving gaps in terms of technological alternatives and assessment of mitigation measures. The RIMA lost quality in relation to the EIA and met less than half of the criteria developed, presenting many weaknesses in the description of impacts. This reinforces the need to improve the preparation and review of these documents, ensuring that they fully comply with legal requirements and serve as effective tools for decision-making in environmental licensing, minimizing the environmental impacts generated by the projects.

Keywords: Clean energy. Environmental studies. Green hydrogen. Environmental licensing. CONAMA resolution.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os níveis de degradação ambiental têm aumentado significativamente no mundo inteiro, especialmente devido à exploração excessiva dos recursos naturais, ao aumento da poluição e as subseqüentes mudanças climáticas (Çetin et al., 2023; Mendes et al., 2023). Como resultado desse cenário, a biodiversidade, os ecossistemas naturais e a qualidade de vida humana se tornam ameaçados (Acheampong e Opoku, 2023). Portanto, é essencial adotar medidas urgentes de preservação e uso sustentável para evitar que danos irreversíveis aconteçam.

Nesse sentido, surge a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), que pode ser definida como um dos mais importantes instrumentos de política ambiental. Trata-se de um procedimento para que os impactos ambientais sejam avaliados antes de que a atividade que os origine seja implementada (Orique e Veronez, 2023; Demori e Montaña, 2024). Desse modo, a AIA parte da descrição da situação atual do ambiente para fazer uma projeção de sua situação futura com e sem o projeto. Ou seja, é uma forma de apresentar um caráter preventivo, prévio e antecipatório (Pereira et al., 2024).

A AIA é adotada na grande maioria dos países, ainda que com distintas aplicações e particularidades e mesmo dentro de um mesmo país, como o Brasil, é possível encontrar variações regionais ou locais de aplicação dos instrumentos de avaliação de impacto sobre o meio ambiente (Sanchez, 2020). Na realidade brasileira, existem diferentes modalidades de AIA, como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto de Meio Ambiente (RIMA), que são exigidos em procedimentos de licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras e modificadoras de meio ambiente (Mota, 2006; Filho, 2021). Dessa forma, diversas legislações garantem a legalidade adequada do processo de licenciamento ambiental, como a Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986, que estabelece diretrizes gerais para elaboração do EIA/RIMA nos processos de licenciamento ambiental dessas atividades potencialmente degradadoras do meio ambiente.

Essas ferramentas avaliam aspectos como degradação de habitats, emissões de gases de efeito estufa, e uso de recursos naturais, promovendo práticas que equilibrem desenvolvimento econômico e preservação ambiental (Mota, 2006; Sanchez, 2020). Todavia, em um cenário global marcado pelas mudanças climáticas, esses processos se tornam ainda mais relevantes ao considerar o papel estratégico da matriz energética.

A matriz energética tradicional, amplamente baseada em combustíveis fósseis, tem sido uma das principais responsáveis pelas emissões de carbono e pelo aquecimento global (Lima et al., 2020; Agostini et al., 2021). Nesse contexto, a mudança para uma matriz energética renovável e limpa não é apenas uma questão de avanço tecnológico, mas uma exigência

ambiental e para que seu desenvolvimento seja sustentável, é indispensável a realização de estudos ambientais detalhados.

Dessa forma, a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) se dá por metas de descarbonização assumidas por cada país. Em um contexto mais atual, o hidrogênio (H₂) emergiu nas discussões como uma ferramenta para promover a descarbonização em setores estratégicos, como transporte, construção civil e geração de energia, ocupando o lugar de fontes poluentes, como o gás natural e o carvão.

A aplicação do H₂ pode ser encontrada na fabricação de amônia, metanol, aço, entre outros. A amônia, em específico, é um composto químico à base de nitrogênio e hidrogênio que é amplamente utilizada na produção de fertilizantes e produtos químicos. Além disso, a amônia é um combustível promissor para o transporte marítimo, devido à alta densidade energética e facilidade de armazenamento, e para a geração de energia em turbinas, motores ou células de combustível. Segundo Iberdrola (2023) e Skhar et al., (2024), a produção de amônia se dá por duas vias principais. A primeira delas é a partir do gás natural, resultando na emissão de 2 toneladas de CO₂ por tonelada de amônia, o que caracteriza a chamada amônia cinza. A outra via, é a partir do hidrogênio verde, que é obtido por meio da combinação de eletrólise com energias renováveis, sendo chamada de amônia verde.

Embora a amônia verde seja uma alternativa estratégica para descarbonizar setores como fertilizantes e combustíveis marítimos devido a inexistência de emissão de GEE durante a produção, essas plantas também demandam atenção em relação a seus impactos ambientais (Galusnyak et al., 2023; Sekhar et al., 2024). Sua produção pode consumir grandes volumes de energia renovável e água, especialmente em processos de eletrólise, o que pode agravar a escassez hídrica em regiões vulneráveis (Ojelade, Zaman e Ni, 2023; Sekhar et al., 2024). Outrossim, a instalação dessas plantas requer infraestrutura de grande porte, que pode interferir em ecossistemas locais e afetar a ocupação do solo (Galusnyak et al., 2023). Osorio-Tejada et al. (2022) avaliou a produção de amônia na Austrália e identificou o transporte como um dos maiores contribuintes para o aquecimento global.

Projetos em regiões como o Nordeste do Brasil, com abundância de energia solar e eólica, têm potencial para liderar a produção de hidrogênio e amônia verdes, mas enfrentam desafios relacionados à gestão de impactos ambientais e sociais. Esses empreendimentos podem gerar conflitos pelo uso da terra, deslocamento de comunidades ou mudanças na dinâmica socioeconômica local (Galusnyak et al., 2023; Sekhar et al., 2024). Além disso, como mencionado, há riscos associados ao transporte e armazenamento de amônia, um composto que pode ser tóxico se não for manuseado adequadamente (Osorio-Tejada et al., 2022).

Nesse sentido, estudos ambientais detalhados, como o EIA/RIMA, são fundamentais para prever e minimizar esses efeitos. Por isso, os órgãos ambientais têm realizado essa exigência durante o processo de licenciamento. Então, para minimizar os danos causados no processo de construção de plantas de amônia ou de hidrogênio verdes, durante o processo de licenciamento, os órgãos ambientais têm exigido estudos ambientais mais completos, como o EIA/RIMA. Estes estudos ambientais devem seguir o que consta nas legislações, apresentando uma qualidade adequada para mitigar todos os impactos gerados por esta obra de engenharia de utilidade pública (Sanchez, 2020; Filho, 2021).

Diante disso, é notório que a conformidade com a legislação assegura que todas as possíveis consequências ambientais sejam devidamente analisadas, mitigando danos ao meio ambiente e à saúde pública (Orique e Veronez, 2023; Pereira et al., 2024). Ademais, essa avaliação protege áreas sensíveis, como recursos hídricos e biodiversidade, e garante que as normas de compensação ambiental sejam aplicadas. Assim, para garantir o desenvolvimento de projetos de maneira sustentável e responsável é preciso avaliar se os estudos de impacto ambiental estão de acordo com a legislação competente. Portanto, este trabalho tem como objetivo principal avaliar de forma exploratória e descritiva a qualidade do Estudo de Impacto

Ambiental (EIA), e do seu respectivo Relatório de Impacto do Meio Ambiente (RIMA) de uma planta de amônia verde a ser instalada no estado do Ceará, Brasil. Para isso, critérios foram definidos com base nas resoluções CONAMA nº01/1986 e nº 237/1997.

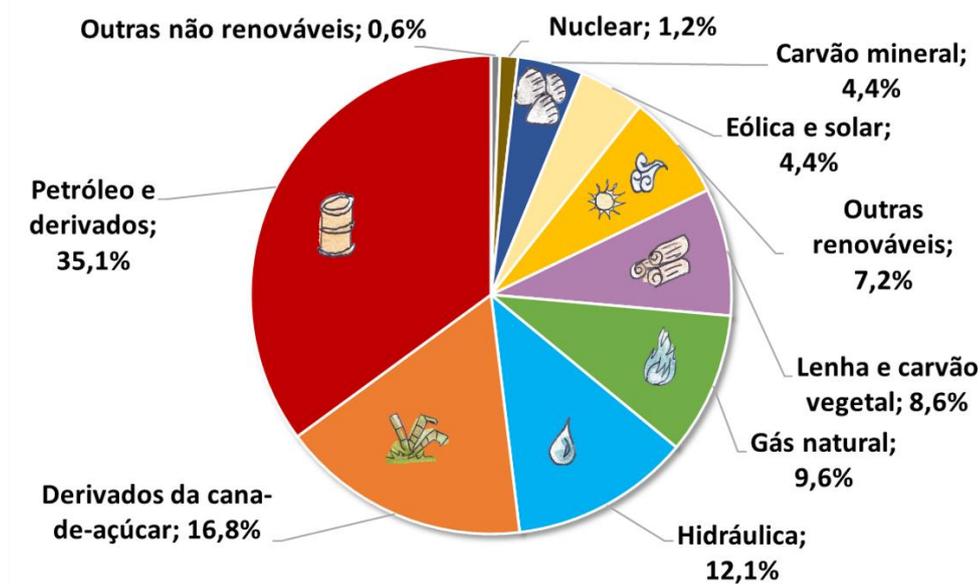
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Produção de amônia verde: Um passo na transição da matriz energética

A atual degradação ambiental é um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade, com impactos que se manifestam de forma acelerada em diversos aspectos, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa, o desmatamento, a poluição do solo, da água e do ar, e a perda de biodiversidade (Oliveira, Beswick e Yan, 2021; Ma et al., 2024). Esse cenário, agravado por décadas de exploração intensiva de recursos naturais e pela predominância de fontes fósseis na matriz energética global, tem contribuído para as mudanças climáticas, comprometendo a qualidade de vida e a segurança ambiental das futuras gerações.

De acordo com os últimos dados publicados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024), o mundo possui a matriz energética composta principalmente por fontes não renováveis como carvão, petróleo e gás natural, enquanto que as fontes renováveis totalizam apenas 15%. Já a matriz energética brasileira é muito diferente da média mundial, com quase metade (49,1%) proveniente de fontes renováveis (Figura 1).

Figura 1 – Matriz energética brasileira.



Fonte: EPE, 2024.

Diante dessa realidade, a necessidade de uma transição energética se torna evidente. A dependência de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, não apenas intensifica os problemas ambientais, mas também perpetua um modelo insustentável de desenvolvimento, marcado pela finitude desses recursos e por sua volatilidade econômica (Gil-García et al., 2024; Bairrão et al., 2023).

A transição para fontes renováveis, como solar, eólica, biomassa e hidráulica, surge como uma solução viável e urgente para mitigar os impactos ambientais e construir um futuro

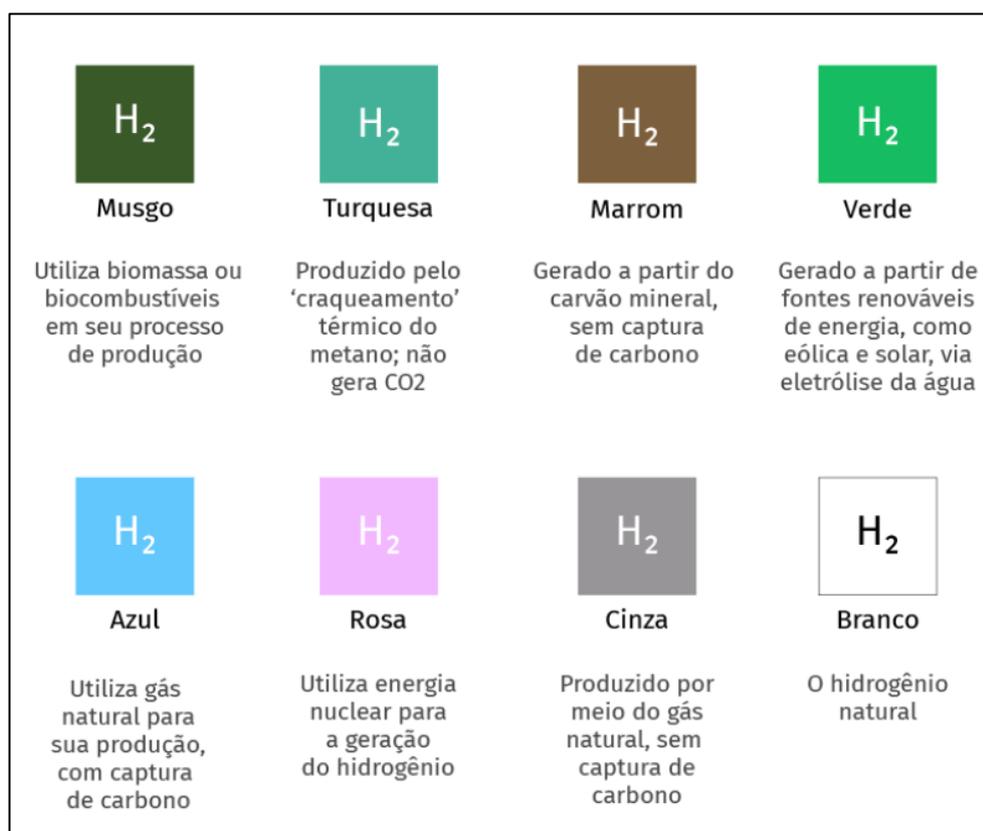
mais sustentável. Nesse contexto, a produção de amônia verde se destaca como uma aplicação inovadora e estratégica das energias renováveis, contribuindo para a descarbonização dos setores de fertilizantes, industriais e de combustíveis marítimos (Wang et al., 2021; Kourougianni et al., 2024).

2.1.1 Definição e aplicações

No contexto da transição energética global, a necessidade acelerada para atingir as metas de descarbonização tem inspirado toda uma agenda de políticas voltadas para o desenvolvimento e ampliação do mercado de hidrogênio (Bairrão et al., 2023).

O hidrogênio, elemento mais abundante do universo (89% dos átomos), é o primeiro da tabela periódica, com um próton, um elétron e um nêutron. Geralmente encontrado em estado gasoso, pode ser liquefeito, ocupando 700 vezes menos espaço, mas requer temperaturas extremas de $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Panchenko et al., 2023; Kourougianni et al., 2024). Ele forma diversas moléculas, como água, ácidos, bases e hidrocarbonetos, sendo uma alternativa energética promissora devido à sua alta densidade de energia por massa, capaz de gerar até três vezes mais energia que combustíveis convencionais (Oliveira, Beswick e Yan, 2021; Ma et al., 2024). Sua classificação por cores ajuda a diferenciar métodos de produção, impactos ambientais e custos tecnológicos (Figura 2).

Figura 2 – Classificação do hidrogênio conforme produção/impactos.



Fonte: Tooge (2024).

O hidrogênio cinza, mais comum atualmente, é obtido do gás natural, gerando altas emissões de CO₂ (Incer-Valverde et al., 2023; Gil-García et al., 2024). O azul, semelhante ao cinza, inclui sequestro de carbono, reduzindo emissões em até 70% (Incer-Valverde et al., 2023).

O musgo é produzido biologicamente por digestão anaeróbica ou biocombustíveis, enquanto o verde, mais sustentável, resulta da eletrólise da água com energia renovável, como solar ou eólica (Incer-Valverde et al., 2023, MA et al., 2024)). A eletrólise, com eficiência de 80%, pode alcançar emissões zero dependendo da fonte energética utilizada (Panchenko et al., 2023). O hidrogênio verde (H2V) é considerado uma solução limpa, mas seu impacto depende diretamente da sustentabilidade da energia usada no processo (Gil-García et al., 2024; Ma et al., 2024).

Para solucionar problemas de armazenamento e logísticas do hidrogênio, a amônia pode ser produzida a partir do hidrogênio (Ye e Tsang, 2023). A vantagem da amônia em relação ao hidrogênio é porque é menos inflamável e pode ser armazenada em temperaturas mais elevadas, facilitando a estocagem e a logística (Liu, 2014; Olabi et al., 2023). No local de uso a amônia pode ser facilmente convertida em hidrogênio, ou em alguns casos utilizadas diretamente em sistemas para geração de vapor (Wang et al., 2021; Ye e Tsang, 2023). Já existem no mundo projetos para utilização de amônia diretamente como combustível em navios. Por exemplo, no início de 2024, a Euronav (maior empresa independente de petroleiros do mundo) planeja adicionar 60 embarcações movidas à amônia e mais 60 navios menores movidos a hidrogênio verde (Eixos, 2024). Entre essas embarcações estão 20 graneleiros, 20 porta-contêineres, 10 petroleiros e 10 navios químicos.

Essa produção de amônia pode servir tanto para o armazenamento mais seguro e viável do hidrogênio verde, podendo ser utilizada em sistemas de geração de vapor ou combustível marítimo, quanto para a descarbonização de setores de difícil descarbonização, com o industrial e de fertilizantes (Wang et al., 2021; Olabi et al., 2023; Bairrão et al., 2023).

Como mencionado anteriormente, a amônia (NH₃) é um composto químico formado por nitrogênio e hidrogênio, amplamente utilizado na fabricação de fertilizantes e produtos químicos industriais. Atualmente, é produzida a partir do gás natural, o que resulta na emissão de 2 toneladas de CO₂ por tonelada de amônia e por essa razão, é classificada como amônia cinza (Incer-Valverde et al., 2023; Gil-García et al., 2024; Ma et al., 2024). O mercado global de amônia movimentada cerca de 185 milhões de toneladas, sendo que aproximadamente 90% dessa produção é consumida internamente pelas indústrias, enquanto os 10% restantes são exportados (Iberdrola, 2023).

Em termos gerais, as tecnologias potenciais para a síntese de amônia podem ser categorizadas em (1) Haber-Bosch centralizado e modificado baseado em metano, (2) Haber Bosch baseado em eletrólise, onde o H₂ é produzido a partir de matérias-primas e energia renováveis, e (3) tecnologias de produção distribuída de amônia, que excluem completamente o processo Haber-Bosch convencional (Sekhar et al., 2024; Ojelade, Zaman e Ni, 2023).

Em (1), o metano é a matéria-prima principal para a produção de hidrogênio, que reage com o nitrogênio para formar a amônia (Liu, 2014). Embora seja eficaz, essa abordagem é fortemente dependente de combustíveis fósseis, gerando uma grande quantidade de CO₂ durante o processo, o que contribui para o aquecimento global (Sekhar et al., 2024). Esse processo continua sendo o mais comum devido à sua eficiência e custo relativamente baixo, mas apresenta sérios desafios em termos de sustentabilidade.

Já a segunda abordagem (2) é o que se chama de amônia verde e envolve uma versão modificada onde o hidrogênio é produzido por eletrólise da água. Nesse processo, a água é decomposta em hidrogênio e oxigênio usando energia elétrica proveniente de fontes renováveis, como solar, eólica ou biomassa (Chen et al., 2018). O hidrogênio gerado dessa maneira é então combinado com nitrogênio atmosférico para formar a amônia (Wang et al., 2021; Ojelade, Zaman e Ni, 2023). Este processo envolve o princípio básico da síntese de Haber-Bosch do método (1), onde ocorre a reação entre ambos sob alta pressão e temperatura, na presença de um catalisador, para formar a amônia (Wang et al., 2021). Dessa forma, é possível produzir amônia verde a partir de hidrogênio verde e nitrogênio do ar.

Este método é mais sustentável do que o tradicional, pois não emite CO₂ durante a produção, desde que a eletricidade utilizada seja de fontes renováveis. Este processo tem aplicações em diversos setores industriais e, devido à ausência de emissões em sua produção, espera-se um aumento significativo na produção dessa amônia, com o objetivo de substituir a amônia cinza e expandir suas utilizações (Iberdrola, 2023).

Por fim, a abordagem (3) refere-se às tecnologias de produção distribuída de amônia, que buscam alternativas ao processo Haber-Bosch convencional. Essas tecnologias visam produzir amônia de forma descentralizada, utilizando principalmente fontes de energia renováveis ou processos biotecnológicos (Ojelade, Zaman e Ni, 2023). A produção distribuída elimina a necessidade de grandes instalações centrais e reduz os custos com transporte e logística. Além disso, pode envolver métodos inovadores, como o uso de microrganismos para a conversão de matéria orgânica em amônia ou sistemas que capturam diretamente o nitrogênio do ar.

Como o Brasil apresenta grande potencial para a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, destacando-se internacionalmente pela sua matriz energética, a abordagem (2) tem ganhado significativa atenção, com grandes investimentos nesse setor. Contudo, a metade da geração de energia no país é proveniente de fontes renováveis, consolidando o Brasil como um modelo global de aproveitamento desses recursos (Epe, 2024).

2.1.2 Impactos ambientais e socioeconômicos

A amônia verde, como discutido anteriormente, é resultante da combinação de processos eletroquímicos com energias renováveis. No entanto, apesar de representarem um avanço significativo na redução das emissões de gases de efeito estufa, as plantas de energias renováveis também podem causar impactos ambientais significativos, dependendo de sua localização e escala (Sayed et al., 2021; Rahman, Farrok E Haque, 2022). Parques eólicos, por exemplo, podem afetar a fauna local, especialmente aves e morcegos, além de gerar alterações visuais na paisagem e ruídos (Nazir et al., 2020; Dhar et al., 2021). Usinas solares podem demandar grandes áreas, impactando ecossistemas naturais ou mesmo causando conflitos pelo uso do solo em regiões agrícolas (Dhar et al., 2021; Rabaia et al., 2021). Já a produção de biomassa pode pressionar recursos hídricos e contribuir para a degradação do solo, caso não seja gerida de forma sustentável (Sayed et al., 2021).

Sendo assim, os impactos nas plantas de produção de amônia verde têm o acréscimo dos impactos da energia renovável associada, que são muito inferiores caso uma energia não renovável estivesse envolvida no processo. Dito isto, os principais impactos que giram em torno da escala de produção de amônia verde podem ser categorizados em: Impactos Ambientais, Impactos Econômicos, Impactos tecnológicos e Impactos sociopolíticos (Olabi et al., 2023; Sekhar et al., 2024).

Embora a produção de amônia verde traga benefícios ambientais evidentes, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, ela também pode gerar impactos ambientais negativos que merecem atenção. Segundo Sekhar et al. (2024), o impacto ambiental da amônia está ligado à sua concentração no ambiente, representando riscos à saúde humana e à de outros organismos. Por isso, é essencial manter sua exposição, seja como gás, líquido ou fertilizante, dentro de limites seguros. Sendo assim, o seu transporte e armazenamento requerem medidas rigorosas de segurança, pois possíveis vazamentos podem gerar os riscos mencionados. O consumo elevado de eletricidade para alimentar os processos de eletrólise também pode pressionar as redes elétricas locais, especialmente se as fontes renováveis não forem suficientes para atender à demanda (Olabi et al., 2023).

Além disso, a eletrólise requer grandes volumes de água de alta pureza, e sua utilização em áreas de escassez hídrica pode exacerbar problemas locais de abastecimento,

comprometendo o uso da água para outros fins essenciais, como agricultura e consumo humano (Ye e Tsang, 2023; Sekhar et al., 2024). A construção e operação das plantas também podem causar impactos locais, como desmatamento e alteração de habitats (Chen et al., 2018, Olabi et al., 2023).

No que se refere aos impactos econômicos, envolve os custos altos associados à geração do hidrogênio verde e à cadeia produtiva da amônia verde, envolvendo armazenamento e transporte (Sekhar et al., 2024). No entanto, a geração de empregos favorece a sua instalação, especialmente quando há uma qualificação técnica prévia para formar o quadro de funcionários.

Do ponto de vista tecnológico, a produção de amônia verde ainda enfrenta desafios relacionados à eficiência e à escalabilidade dos processos (Wang et al., 2021; Olabi et al., 2023). A seleção de tecnologias de eletrólise de alta performance e a necessidade de integração com fontes renováveis intermitentes, como solar e eólica, demandam avanços significativos para garantir uma produção contínua e economicamente viável (Ye e Tsang, 2023; Sekhar et al., 2024). Investimentos em pesquisa e desenvolvimento são cruciais para superar todas as limitações de armazenamento de energia e para otimizar os processos de síntese de amônia com menor consumo energético (Olabi et al., 2023; Sekhar et al., 2024).

Por fim, as barreiras políticas se apresentam como desafios para a expansão da amônia verde, incluindo regulamentações específicas, incentivos econômicos, acordos de cooperação e subsídios para fontes renováveis (Olabi et al., 2023).

2.2 Avaliação de Impactos Ambientais

Segundo Sanchez (2020), a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) pode assumir diferentes definições e interpretações, geralmente descrita como um instrumento ou procedimento que permite a análise prévia de possíveis impactos ambientais antes da implementação de uma atividade que os possa causar. Esse processo baseia-se em projetar cenários futuros do ambiente considerando tanto a ausência quanto a presença do projeto em questão.

Dessa forma, a AIA caracteriza-se por seu papel preventivo e antecipatório, ao buscar identificar, avaliar e propor medidas para evitar ou mitigar possíveis impactos ambientais antes que eles ocorram (Pereira et al., 2024). Para garantir sua eficácia, é imprescindível uma análise detalhada da área afetada, bem como das características da atividade a ser realizada, considerando todas as variáveis e processos envolvidos, além de suas implicações nos cenários físico, biológico e humano (Mota, 2006).

O processo de AIA é organizado em etapas conectadas logicamente para avaliar a viabilidade ambiental de projetos, planos e programas, além de fundamentar decisões relacionadas à sua execução (Sanchez, 2020). A AIA desempenha um papel estratégico ao permitir a exclusão de projetos ambientalmente inviáveis, a validação de alternativas mais sustentáveis, a escolha de localizações mais adequadas, a reformulação de propostas e a redefinição de objetivos e metas (Filho, 2021). Nesse contexto, a AIA está diretamente associada ao licenciamento ambiental, sendo ambos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), instituída pela Lei n.º 6.938/1981. A Resolução CONAMA n.º 01/1986 complementa essa legislação ao estabelecer critérios e diretrizes gerais para a AIA, vinculando-a ao licenciamento de atividades potencialmente poluidoras.

Foi com a aprovação da PNMA que a Avaliação de Impacto Ambiental foi efetivamente incorporada ao arcabouço legal brasileiro, consolidando-se como uma ferramenta essencial na gestão ambiental (Mota, 2006). E assim, antes de explorar detalhadamente o processo de AIA, é necessário compreender os impactos ambientais, suas tipologias e os mecanismos pelos quais ele é analisado, garantindo uma base sólida para a aplicação dessa ferramenta em diferentes contextos.

De maneira geral, segundo Filho (2021) e Orique e Veronez (2023), pode-se apontar que as principais características do processo de AIA são: É um conjunto estruturado de procedimentos; É regido por lei ou regulamentação específica; É documentado; Envolve diversos participantes; e, É voltado para análise da viabilidade ambiental de uma proposta. Embora as diferentes jurisdições estabeleçam procedimentos de acordo com suas particularidades e a legislação vigente, qualquer sistema de avaliação de impacto ambiental deve obrigatoriamente ter um certo número mínimo de componentes, que definem como serão executadas certas tarefas obrigatórias (Sanchez, 2020; Santos, Loreto e Oliveira, 2022).

2.3 Estudos Ambientais

Conforme disposto na Resolução nº 237 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 1997, os estudos ambientais abrangem qualquer análise relacionada aos aspectos ambientais envolvidos na localização, instalação, operação ou ampliação de atividades ou empreendimentos. Esses estudos servem como base para a avaliação das licenças solicitadas e incluem documentos como relatórios ambientais, planos e projetos de controle ambiental, diagnósticos ambientais, relatórios preliminares, planos de manejo, planos de recuperação de áreas degradadas e análises preliminares de risco.

A diversidade de estudos ambientais disponíveis permite sua adaptação às especificidades de cada atividade. Para alguns especialistas, esses estudos representam o elemento central da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), devido ao seu papel estruturante e à transparência proporcionada pelo caráter público de sua elaboração (Demori E Montañó, 2024; Pereira et al., 2024). Dentre os estudos ambientais, destacam-se os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e seus respectivos Relatórios de Impacto sobre o Meio Ambiente (RIMA), amplamente reconhecidos por sua abrangência. Esses documentos são obrigatórios em atividades classificadas como potencial ou efetivamente capazes de causar significativa degradação ambiental.

2.3.1 EIA

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) é um documento técnico que detalha as condições iniciais do ambiente onde será implantada a atividade sujeita a licenciamento (Sanchez, 2020; Filho, 2021; Santos, Loreto e Oliveira, 2022). Este abrange aspectos como a justificativa para a escolha do local, as alterações socioambientais esperadas, os impactos ambientais potenciais, as medidas mitigadoras sugeridas e eventuais compensações necessárias, entre outros pontos relevantes (Brasil, 1986).

Ainda de acordo com a Resolução CONAMA nº 01/1986, os EIAs devem seguir quatro diretrizes principais: considerar todas as alternativas tecnológicas e de localização, comparando-as com a possibilidade de não execução do projeto; identificar e avaliar de forma sistemática os impactos ambientais decorrentes das fases de implantação e operação; delimitar a área de influência do projeto, abrangendo os impactos diretos e indiretos, e levar em conta a bacia hidrográfica onde o projeto se encontra; e analisar a compatibilidade do projeto com os planos e programas governamentais existentes ou previstos para a área de influência.

Com base nessas diretrizes, Sanchez (2020) organiza os EIAs em quatro grandes blocos de atividades técnicas com um estudo a parte que é o RIMA. O primeiro é o diagnóstico ambiental da área de influência, que inclui uma análise abrangente dos recursos ambientais e suas interações para caracterizar a situação da área antes da implantação do projeto. Essa análise abrange o meio físico (subsolo, águas, clima, topografia e outros), o meio biológico (flora, fauna e ecossistemas, com atenção especial às espécies raras, ameaçadas e de valor científico ou econômico) e o meio socioeconômico (uso e ocupação do solo, relações comunitárias e

patrimônio cultural). O segundo bloco foca na análise dos impactos ambientais, identificando, prevendo e interpretando sua magnitude e relevância, considerando aspectos como sua reversibilidade, caráter cumulativo ou sinérgico, e a distribuição de ônus e benefícios sociais.

O terceiro bloco consiste na definição das medidas mitigadoras, incluindo tecnologias de controle e sistemas de tratamento de efluentes, avaliando sua eficácia na redução dos impactos negativos. Por fim, o quarto bloco compreende a elaboração de programas de monitoramento e acompanhamento, que especificam os fatores e parâmetros a serem avaliados ao longo do tempo, tanto para impactos positivos quanto negativos.

Assim, ao compilar essas informações, o EIA geralmente é estruturado em capítulos que abordam as informações gerais, a caracterização do empreendimento, a área de influência, o diagnóstico ambiental, a análise dos impactos, as medidas mitigadoras e o programa de monitoramento (Figura 3). Esses elementos tornam o EIA um instrumento essencial para a tomada de decisões ambientalmente responsáveis.

Figura 3 – Categorização de um Estudo de Impacto de Ambiental.



Fonte: Autor (2025).

2.3.2 RIMA

O Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente (RIMA) é elaborado como uma síntese das conclusões presentes nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA). Trata-se de um documento gerencial e de caráter público, que desempenha um papel essencial na transparência do processo de avaliação ambiental ao apresentar informações de maneira clara, acessível e didática, com o objetivo de alcançar tanto especialistas quanto a população em geral (Brasil, 1986). Enquanto o EIA aprofunda-se em aspectos técnicos e detalhados do projeto, o RIMA adapta esse conteúdo técnico para uma linguagem simplificada e objetiva, facilitando a compreensão e ampliando o alcance da informação (Mota, 2006; Filho, 2021).

Uma das características marcantes do RIMA é sua organização mais sucinta, com um menor número de páginas em comparação ao EIA. Ele se utiliza de recursos visuais como gráficos, tabelas, ilustrações e fotografias, tornando os dados mais atraentes e de fácil interpretação (Sanchez, 2020). Apesar das diferenças na forma de apresentação, o RIMA mantém os principais elementos do conteúdo do EIA, como a descrição do empreendimento, a análise dos impactos ambientais e as medidas mitigadoras propostas. O diferencial está em como esses elementos são estruturados: enquanto o EIA prioriza uma abordagem técnica, com análises profundas e específicas, o RIMA adota um tom mais inclusivo, garantindo que os dados

técnicos sejam traduzidos em uma narrativa compreensível para o público leigo (Santos, Loreto e Oliveira, 2022).

Além disso, o RIMA cumpre um papel estratégico em processos participativos, como audiências públicas, onde é fundamental comunicar de forma clara os possíveis impactos do projeto, bem como as ações previstas para mitigação (Sanchez, 2020). Ele permite que a sociedade compreenda os riscos e benefícios envolvidos, promovendo um debate mais informado e equilibrado. Assim, o RIMA não é apenas uma simplificação do EIA, mas também um instrumento de diálogo, que fortalece a participação popular no processo de tomada de decisão ambiental e contribui para a construção de projetos mais sustentáveis e socialmente responsáveis.

2.3.3 Outros estudos ambientais

Além do EIA/RIMA, outros estudos complementares são utilizados na Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), adaptando-se ao porte e aos impactos do empreendimento. O Plano de Controle Ambiental (PCA) é elaborado durante a obtenção da Licença de Instalação (LI) e foca em identificar e propor medidas mitigadoras para empreendimentos de médio porte, como atividades de mineração (Brasil, 1990a). Já o Relatório de Controle Ambiental (RCA) é exigido quando o EIA/RIMA não é necessário, acompanhando o pedido de licença para atividades de menor impacto ambiental (Brasil, 1990b). Este documento caracteriza o ambiente, verifica a conformidade com medidas de controle e propõe ações específicas para evitar degradação. No Ceará, por exemplo, a SEMACE adota o Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA) para projetos cujos impactos não justifiquem a necessidade de um EIA/RIMA (Ceará, 2013).

Estudos simplificados também são aceitos para empreendimentos de pequeno porte, como o Relatório Ambiental Simplificado (RAS), que mantém a estrutura básica do EIA, mas com informações mais objetivas (Brasil, 2001a). Outro instrumento relevante é o Estudo Prévio de Impacto de Vizinhança (EIV), que avalia os efeitos de projetos em áreas urbanas ou rurais, considerando fatores como adensamento populacional, tráfego, ventilação, paisagem e patrimônio cultural (Brasil, 2001b). Regulamentado pelo Estatuto da Cidade, o EIV depende de legislação municipal para definir os empreendimentos obrigados a apresentá-lo, sendo uma ferramenta estratégica de planejamento urbano e ambiental.

2.4 Licenciamento Ambiental

Como já foi mencionado, a AIA e o licenciamento ambiental foram estabelecidos como instrumentos distintos pela PNMA, por meio da Lei nº 6.938/1981. Historicamente, esses dois instrumentos sempre estiveram interligados, sendo que a avaliação de impactos ambientais foi regulamentada pela Resolução CONAMA nº 001/86.

Essa resolução, além de garantir a participação pública nas decisões sobre projetos, também define os critérios e diretrizes para a implementação da AIA, estabelecendo a obrigatoriedade EIA/RIMA para atividades que causam alterações significativas no meio ambiente. Entre as atividades que exigem esse estudo estão a construção de rodovias com duas ou mais faixas de rolamento, ferrovias, aeroportos, oleodutos, gasodutos, minerodutos, sistemas de coleta de esgoto e emissários, extração de combustíveis fósseis (como petróleo, xisto e carvão), e a mineração, entre outras (Brasil, 1986).

Portanto, para que as atividades mencionadas possam ser autorizadas, é necessário a elaboração de um estudo ambiental mediante permissão do órgão ambiental através do licenciamento ambiental. O processo de licenciamento foi regulamentado pela Resolução CONAMA nº 237 de 1997, que define o licenciamento como um procedimento administrativo conduzido pelo órgão ambiental competente, responsável por aprovar a localização, instalação,

expansão e operação de projetos e atividades que utilizam recursos naturais e que, de alguma forma, possam ser poluentes ou causar danos ao meio ambiente.

Assim, o licenciamento ambiental deve ser realizado antes da construção, instalação, ampliação ou início das atividades, funcionando como um requisito essencial para validar a viabilidade ambiental do empreendimento (Filho, 2021; Santos, Loreto e Oliveira, 2022). Nesse sentido, existem três licenças fundamentais, que a depender de cada atividade podem ser exigidas isoladamente ou em conjunto: Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação.

A Licença Prévia é emitida no estágio inicial do planejamento de um empreendimento ou atividade, validando a sua localização e concepção, confirmando a viabilidade ambiental e definindo os requisitos e condições a serem cumpridos nas etapas subsequentes. A validade dessa licença pode ser de até cinco anos (Brasil, 1997; Santos, Loreto e Oliveira, 2022).

A Licença de Instalação permite que o empreendimento ou atividade sejam instalados conforme as especificações dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e outros requisitos estabelecidos. A validade desta licença pode variar até seis anos, dependendo da complexidade do projeto ou atividade (Brasil, 1997; Filho, 2021).

Por último, a Licença de Operação concede a permissão para o início das atividades ou operação do empreendimento, após a confirmação de que todas as exigências das licenças anteriores foram atendidas. A validade dessa licença pode variar entre quatro e dez anos, dependendo das características do empreendimento e do seu potencial de impacto ambiental (Brasil, 1997; Sanchez, 2020).

O cumprimento das condicionantes e a realização de monitoramentos periódicos são requisitos fundamentais para a manutenção das licenças (Santos, Loreto e Oliveira, 2022). No Ceará, o licenciamento é regulado pela Resolução COEMA 02/2019 e além de dispor como base esses 3 tipos de licenças, ainda existem 6 novas licenças (Tabela 1).

Tabela 1 - Outras tipologias de licenças ambientais no estado do Ceará.

LICENÇA AMBIENTAL	APLICAÇÃO	VALIDADE
Licença de Instalação e Operação	Projetos agrícolas, de irrigação, cultivo de flores e plantas ornamentais (floricultura), cultivo de plantas medicinais, aromáticas e condimentares, piscicultura de produção em tanque-rede e carcinicultura de pequeno porte	6 anos
Licença de Instalação e Ampliação	Ampliação, adequação ambiental e reestruturação de empreendimentos já existentes, com licença ambiental vigente.	5 anos
Licença de Instalação e Ampliação para Readequação	Exclusivamente para Postos de Revenda de Combustíveis e Derivados de Petróleo ou para adequação ambiental e reestruturação de empreendimentos já existentes	3 anos
Licença Ambiental Única	Empreendimentos ou atividades de porte micro e pequeno, com Potencial Poluidor-Degradador – PPD baixo e médio	6 anos
Licença Ambiental por Adesão e Compromisso	Condições específicas ditas pelo órgão competente	3 anos
Licença Prévia e de Instalação	Aprovação da localização, concepção e instalação	6 anos

Fonte: Ceará, 2019.

É fundamental destacar que a execução de um empreendimento ou atividade sem a devida autorização do órgão ambiental, quando essa licença for exigida, pode acarretar penalidades para o responsável (Brasil, 1997). Conforme o artigo 60 da Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/98), realizar a construção, reforma, ampliação, instalação ou operação de estabelecimentos, obras ou serviços que possam causar poluição, sem a licença ou autorização dos órgãos ambientais competentes, pode resultar em detenção de um a seis meses, ou multa, ou ainda ambas as sanções simultaneamente.

Por fim, é relevante destacar que o órgão ambiental responsável tem a autoridade para alterar as condições e as medidas de controle estabelecidas, bem como suspender ou revogar uma licença já concedida, caso haja violação ou descumprimento de qualquer condicionante ou norma legal (Brasil, 1997). Isso também se aplica quando se identificar omissões ou informações falsas que tenham sido utilizadas para a emissão da licença, ou quando surgirem novos riscos ambientais e à saúde de grande magnitude.

2.5 Metodologias e ferramentas de análise da qualidade de estudos ambientais

As metodologias e ferramentas de análise da qualidade de estudos ambientais são essenciais para garantir a precisão, a transparência e a eficácia na avaliação dos impactos ambientais causados por empreendimentos (Sanchez, 2020). Para garantir que os estudos cumpram seu papel de maneira eficiente, diversas metodologias e ferramentas de análise são utilizadas, tanto durante a sua elaboração quanto após sua implementação.

Para avaliar a qualidade dos estudos ambientais, utiliza-se a metodologia de revisão de literatura, que permite comparar o estudo com as melhores práticas e normas estabelecidas (Orique e Veronez, 2023). Outra metodologia importante é a análise multicritério, que avalia diferentes aspectos do projeto, como impactos econômicos, sociais e ambientais, ponderando os resultados para indicar a melhor opção de mitigação (De Almeida e Martins, 2023; Demori e Montaña, 2024).

Ferramentas computacionais também têm sido cada vez mais empregadas, como softwares de modelagem de dispersão de poluentes e simulações ecológicas, que ajudam a prever os impactos de forma quantitativa (Filho, 2021). Além disso, as ferramentas de monitoramento e auditoria ambiental são essenciais para acompanhar a eficácia das medidas estabelecidas nos planos de mitigação, garantindo a adequação contínua dos empreendimentos ao licenciamento ambiental e às normas estabelecidas (Orique e Veronez, 2023; De Almeida e Martins, 2023).

Por fim, a comparação com os requisitos exigidos nas legislações ambientais tem sido utilizada com frequência e atingido resultados satisfatórios, especialmente ao unir métodos de checklist com a definição de critérios essenciais, conforme Ribeiro e Almeida (2018).

Essas metodologias e ferramentas, ao fornecerem uma análise crítica e sistemática, asseguram que os estudos ambientais sejam completos e precisos, contribuindo para a proteção dos recursos naturais e o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental.

3 METODOLOGIA

Este estudo focou exclusivamente na avaliação da efetividade processual, examinando Estudo de Impacto Ambiental e o Relatório de Impacto do Meio Ambiente (EIA/RIMA) quanto à sua conformidade com os princípios e normas previamente estabelecidos. De acordo com Sadler (1996), a análise da efetividade processual é conduzida em três processos sequenciais: 1) verificação da conformidade com os requisitos processuais; 2) avaliação da qualidade de

toda a documentação exigida; e 3) análise da adequação da metodologia empregada para avaliar os impactos e garantir a participação pública. Sendo assim, a pesquisa seguiu as etapas apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do procedimento metodológico adotado nesta pesquisa.



Fonte: Autor (2025).

2.1 Descrição da área de estudos ambientais

O objeto de estudo de caso desta investigação trata-se do Estudo de Impacto Ambiental e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) de uma planta de produção de amônia verde localizada no Estado do Ceará, cujo atual procedimento de licenciamento ambiental está sob responsabilidade, em 2024, do órgão estadual de meio ambiente, a Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Estado do Ceará (SEMACE). A legislação estadual vigente sobre o processo de licenciamento é a Resolução COEMA nº 08/2004, mas no que se refere à elaboração dos estudos ambientais, a Resolução CONAMA nº 01/1986 é a válida. Além disso, conforme garantido por estas legislações, os estudos ambientais devem estar disponíveis para toda a população. Sendo assim, o acesso ao EIA/RIMA em análise foi solicitado à SEMACE, que foi elaborado por uma empresa de consultoria contratada pelo empreendedor da planta de produção de amônia verde.

O empreendimento analisado busca obter sua implantação numa área de 80 hectares e está situado no Setor II da Zona de Processamento de Exportação do Ceará – ZPE do Complexo Industrial e Portuário do Pecém – CIPP, no município de Caucaia/CE (Figura 5). O empreendimento tem como premissa a construção e operação de uma planta de produção de amônia, produzida 100% com energia renovável, com capacidade inicial equivalente a 800.000 toneladas de amônia por ano. Ademais, está prevista uma capacidade de expansão de 50% dentro dos limites da área do projeto, totalizando uma capacidade máxima produtiva de 1.200.000 toneladas de amônia por ano.

Figura 5 – Mapa de localização do empreendimento.



Fonte: Autor (2025).

2.2 Definição de critérios

Para analisar a qualidade do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental, foi utilizado o método de análise de conteúdo por meio do Guia Geral/Checklist proposto por Ribeiro e Almeida (2018). O método de Ribeiro e Almeida (2018) é composto por três etapas, sendo a primeira delas a coleta de dados. Nesta etapa, foram examinados os métodos de checklist utilizados na Resolução CONAMA nº 01/1986 tanto para elaboração dos estudos quanto para sua avaliação.

Na segunda etapa, denominada definição de critérios essenciais, foram analisados os parâmetros obrigatórios que devem constar nos guias de elaboração e análise do EIA, a fim de explorar todas as áreas fundamentais de um estudo de boa qualidade.

Por fim, a terceira etapa consistiu na elaboração do guia geral, onde as informações obtidas na primeira e segunda etapas foram utilizadas para desenvolver os critérios a serem seguidos na avaliação da qualidade dos estudos (Tabela 2). Nesta etapa, também foi utilizada a metodologia de efetividade processual de Sadler (1996) e uma adaptação do conjunto de critérios desenvolvidos por Prado (2017). Portanto, ressalta-se que os critérios definidos para a análise da qualidade dos estudos ambientais em questão, foram obtidos das diretrizes e conteúdos mínimos para elaboração do EIA (artigos 5º e 6º) e do RIMA (art. 9º), estabelecidos na Resolução CONAMA nº 01/1986.

Tabela 2 - Conjunto de critérios para análise da efetividade processual do EIA/ RIMA a partir da Resolução CONAMA 01/1986.

BLOCO	CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	EMBASAMENTO CONAMA 01/86
Informações gerais e caracterização do projeto	C1 EIA	Contemplar as alternativas tecnológicas	Artigo 5º, inciso I
	C2 EIA	Contemplar as alternativas locais	Artigo 5º, inciso I
	C3 EIA	Confrontar alternativas tecnológicas com a hipótese de não implantação do empreendimento	Artigo 5º, inciso I
	C4 EIA	Confrontar alternativas locais com a hipótese de não implantação do empreendimento	Artigo 5º, inciso I
	C5 EIA	Definir limites da área de influência direta considerando a bacia hidrográfica correspondente	Artigo 5º, inciso III
	C6 EIA	Definir limites da área de influência indireta considerando a bacia hidrográfica correspondente	Artigo 5º, inciso III
	C7 EIA	Considerar os planos e programas governamentais do projeto e alternativas	Artigo 5º, inciso IV
Diagnóstico ambiental	C8 EIA	Diagnóstico ambiental do meio físico	Artigo 6º, inciso I
	C9 EIA	Diagnóstico ambiental do meio biótico	Artigo 6º, inciso I
	C10 EIA	Diagnóstico ambiental do meio socioeconômico	Artigo 6º, inciso I
Análise dos impactos	C11 EIA	Identificar os impactos nas fases de implantação e operação	Artigo 5º, inciso II
	C12 EIA	Avaliar sistematicamente os impactos nas fases de implantação e operação	Artigo 5º, inciso II
	C13 EIA	Impactos positivos e negativos: identificação, previsão de magnitude e interpretação	Artigo 6º, inciso II
	C14 EIA	Impactos diretos e indiretos: identificação, previsão de magnitude e interpretação	Artigo 6º, inciso II
	C15 EIA	Impactos imediatos e a médio e longo prazos: identificação, previsão de magnitude e interpretação	Artigo 6º, inciso II
	C16 EIA	Impactos temporários e permanentes: identificação, previsão de magnitude e interpretação	Artigo 6º, inciso II
	C17 EIA	Grau de reversibilidade dos Impactos	Artigo 6º, inciso II
	C18 EIA	Propriedades cumulativas e sinérgicas dos impactos	Artigo 6º, inciso II
	C19 EIA	Distribuição dos ônus e benefícios sociais dos impactos	Artigo 6º, inciso II
Medidas mitigadoras e programa de acompanhamento	C20 EIA	Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos	Artigo 6º, inciso III
	C21 EIA	Avaliação da eficiência de cada medida de mitigação	Artigo 6º, inciso III
	C22 EIA	Programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos	Artigo 6º, inciso IV

RIMA	C23 RIMA	Objetivos e justificativas do projeto	Artigo 9º, inciso I
	C24 RIMA	Compatibilidade do projeto com as políticas setoriais, planos e programas	Artigo 9º, inciso I
	C25 RIMA	Descrição do projeto	Artigo 9º, inciso II
	C26 RIMA	Descrição das alternativas tecnológicas e locacionais	Artigo 9º, inciso II
	C27 RIMA	Especificação das fases de construção e operação	Artigo 9º, inciso II
	C28 RIMA	Sínteses dos resultados dos estudos de diagnósticos ambiental da área de influência	Artigo 9º, inciso III
	C29 RIMA	Descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, considerando o projeto	Artigo 9º, inciso IV
	C30 RIMA	Descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, considerando as alternativas	Artigo 9º, inciso IV
	C31 RIMA	Descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, considerando os horizontes de tempo de incidência dos impactos	Artigo 9º, inciso IV
	C32 RIMA	Caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência considerando o projeto e suas alternativas	Artigo 9º, inciso V
	C33 RIMA	Caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência na hipótese de não realização do projeto	Artigo 9º, inciso V
	C34 RIMA	Efeito esperado das medidas mitigadoras em relação aos impactos negativos	Artigo 9º, inciso VI
	C35 RIMA	Programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos	Artigo 9º, inciso VII
	C36 RIMA	Recomendação quanto à alternativa mais favorável	Artigo 9º, inciso VIII

Fonte: Autor (2025).

2.3 Avaliação e verificação de conformidades

Após a definição dos critérios a serem avaliados nos estudos ambientais, o próximo passo foi definir as diretrizes para a avaliação da conformidade. Sendo assim, para o enquadramento da conformidade foi utilizado um sistema de símbolos, estabelecendo uma relação de conformidade com o critério avaliado, onde o símbolo negro significa que o critério foi satisfatoriamente atendido, o símbolo hachurado indica que o critério foi parcialmente atendido e a ausência de símbolo, significa que o critério não foi atendido (Tabela 3).

Tabela 3 - Níveis de conformidade para os critérios analisados.

NÍVEL DE CONFORMIDADE	SÍMBOLO REFERENTE AO NÍVEL	
Atendido satisfatoriamente	Verde	
Atendido parcialmente	Cinza	
Não atendido	Vermelho	
Somente citado	Azul	
Não se aplica	Vazio	

Fonte: Autor (2025).

Para este trabalho, estar “Atendido Satisfatoriamente” significa dizer que todo o conteúdo mínimo requerido pelo critério foi plenamente acompanhado. Ao se analisar que entre 30% a 90% do critério foi respondido, o nível de conformidade se apresenta como “Atendido Parcialmente”. Abaixo de 30% do critério acolhido, o nível de conformidade foi considerado “Não Atendido”. Ainda, dois níveis foram avaliados: Somente Citado, que demonstra que algo foi apresentado no estudo de forma superficial e sem maiores explorações, e “Não se Aplica”, que é usado quando o item proposto na lista não é aplicável ao empreendimento que está sendo analisado. Sendo necessário, portanto, conhecimento crítico de quais são os tópicos indispensáveis a cada assunto.

Se após a realização do estudo de efetividade, o mesmo apresentar todos os critérios satisfatoriamente atendidos, seguindo rigorosamente os requisitos mínimos exigidos na Resolução CONAMA nº 01/1986, então podemos afirmar que o estudo apresenta uma qualidade processual satisfatória.

2.4 Análise técnica

Na análise técnica realizada, buscou-se contribuir com o aprimoramento do conhecimento e a aplicação prática deste estudo ambiental. Para tanto, as principais falhas identificadas ao longo do processo foram avaliadas de forma criteriosa e comparadas com as observadas em outros estudos ambientais similares, buscando estabelecer referências e identificar padrões. Além disso, os principais aspectos levantados foram amplamente discutidos, considerando suas implicações ambientais, sociais e econômicas. Todo esse processo foi conduzido de maneira integrada e ao longo de todo o estudo, com o objetivo de assegurar uma análise robusta e alinhada às melhores práticas da área.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Num panorama da efetividade processual dos estudos ambientais exigidos pelo órgão ambiental do estado do Ceará para a planta de produção de amônia verde que está em processo de licenciamento, foram definidos 22 critérios para a análise do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e 14 critérios para a análise de seu respectivo Relatório de Impacto de Meio Ambiente (RIMA). Ambos critérios, como mencionado, foram delineados conforme a legislação ambiental nacional que versa sobre os requisitos do licenciamento ambiental e os resultados são apresentados a seguir. Sendo assim, esta seção é dividida em blocos que reúnem requisitos específicos e convergentes para o EIA e um bloco isolado para o RIMA.

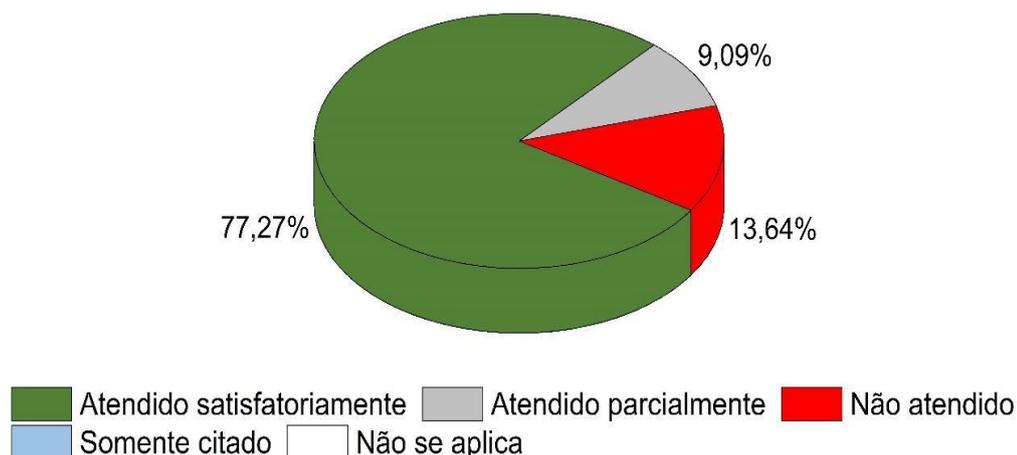
4.1 Qualidade processual do Estudo de Impacto Ambiental

Durante o processo de licenciamento de obras ou atividades que sejam degradadoras da qualidade ambiental, os órgãos ambientais solicitam a apresentação do Estudo de Impacto Ambiental por se tratar de um documento técnico mais completo. Diante disso, a planta em análise apresentou seu EIA neste ano de 2024 para que o órgão ambiental estadual, SEMACE, mensurar a viabilidade da construção efetiva do projeto.

Diante dos critérios estabelecidos, verificou-se que o EIA não atende a 100% do que é exigido na CONAMA nº 01 de 1986, legislação ambiental base para os processos de licenciamento. Cerca de 77% dos critérios foram atendidos satisfatoriamente, conforme reportado na Figura 6. Esse valor é considerado alto pela literatura, uma vez que em média, os EIAs elaborados não atingem 60% de conformidade (da Silva, 2020; da Silva, Aguiar e Cabral, 2020). Pereira (2022) ao analisar a qualidade do estudo ambiental da Barragem Fronteiras, instalada no rio Poti, na cidade de Crateús (CE), atingiu apenas 42,19% de conformidade dos 128 critérios estabelecidos.

Figura 6 – Efetividade processual do EIA da planta de produção de amônia verde em análise.

ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL:



Fonte: Autor (2025).

Além disso, cerca de 14% dos critérios estabelecidos estão totalmente em desacordo com a resolução e aproximadamente 9% atendem apenas de forma parcial. De acordo com Pereira e Gois (2016) e Orique e Verozes (2024), a realização de um EIA que não atende a todos os critérios exigidos pela legislação ambiental pode trazer uma série de desvantagens que comprometem tanto a eficácia do estudo quanto o processo de licenciamento em si. Na investigação de da Silva, Aguiar e Cabral (2020) sobre o EIA de um loteamento no estado do Ceará, cerca de 21,4% dos critérios foram parcialmente atendidos.

A legislação ambiental, ao estabelecer parâmetros técnicos e metodológicos para os EIAs, visa assegurar que os impactos ambientais de um empreendimento sejam devidamente identificados, avaliados e mitigados mediante um diagnóstico adequado da área de influência direta e indireta do empreendimento/atividade. Quando essas diretrizes não são seguidas, o estudo pode apresentar lacunas que prejudicam a análise dos impactos cumulativos e sinérgicos, por exemplo, que são cruciais para compreender a real magnitude dos efeitos do projeto (Gurgel, 2016). Além disso, a falta de critérios técnicos pode resultar em uma análise superficial das alternativas locacionais e tecnológicas, restringindo as opções que poderiam reduzir os impactos negativos (Gallardo e Bond, 2024).

Outro problema significativo é a possível rejeição do estudo pelos órgãos ambientais, o que não apenas atrasa o processo de licenciamento, mas também aumenta os custos, já que o empreendedor terá que refazer o estudo para atender às exigências legais (Gomes, 2009; Da Silva, 2020). Esse retrabalho pode gerar conflitos entre o empreendedor, a sociedade civil e os órgãos ambientais, além de prejudicar a imagem do empreendimento perante a opinião pública.

Por ser um estudo ambiental mais detalhado, o EIA é composto por diversas seções, e a discussão a seguir será organizada com base em cada um desses blocos exigidos em sua elaboração.

4.1.1 EIA: Informações gerais e caracterização do projeto

O primeiro bloco do Estudo de Impacto Ambiental é fundamental para apresentar os detalhes iniciais do empreendimento e estabelecer o contexto necessário para a análise de seus impactos ambientais. Esse bloco, intitulado de “Informações gerais e caracterização do projeto”, geralmente inclui informações como a descrição do projeto, localização, alternativas locais e tecnológicas, objetivo, justificativa e os principais componentes que compõem o empreendimento. A identificação do proponente e das instituições responsáveis pela elaboração do EIA também é incluída, garantindo transparência no processo. Dessa forma, para este bloco, 7 critérios foram estabelecidos, dos quais apenas 43% foram satisfatoriamente atendidos.

Destes critérios atendidos está a abordagem das alternativas locais e a definição dos limites da área de influência direta e indireta. De acordo com Sanchez (2020), essa caracterização da área de influência é confundida em alguns aspectos com a etapa de diagnóstico, no entanto, ela deve englobar apenas justificativas, localização e mapeamento da atividade. No EIA em análise, isso aconteceu da forma adequada, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Análise da efetividade processual do EIA (bloco 1) da planta de produção de amônia verde no estado do Ceará, Brasil.

BLOCO	CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	Análise de conformidade
Informações gerais e caracterização do projeto	C1 EIA	Contemplar as alternativas tecnológicas	
	C2 EIA	Contemplar as alternativas locais	
	C3 EIA	Confrontar alternativas tecnológicas com a hipótese de não implantação do empreendimento	
	C4 EIA	Confrontar alternativas locais com a hipótese de não implantação do empreendimento	
	C5 EIA	Definir limites da área de influência direta considerando a bacia hidrográfica correspondente	
	C6 EIA	Definir limites da área de influência indireta considerando a bacia hidrográfica correspondente	
	C7 EIA	Considerar os planos e programas governamentais do projeto e alternativas	

Fonte: Autor (2025).

A definição de alternativas locais e tecnológicas nos estudos ambientais é uma

etapa muito importante porque permite identificar opções que minimizem os impactos ambientais, sociais e econômicos de um empreendimento, promovendo escolhas mais sustentáveis e eficazes. A análise de localizações considera fatores como preservação ambiental, acessibilidade e viabilidade técnica, enquanto as alternativas tecnológicas buscam soluções que reduzam o consumo de recursos e a poluição. O estudo da planta de amônia cumpre bem os aspectos relacionados apenas às alternativas locais. Em relação às alternativas tecnológicas, existem algumas lacunas e por isso foi considerada parcialmente atendida. O fato é que o estudo contempla apenas as alternativas relacionadas à obtenção de hidrogênio verde, que é a matéria-prima para a amônia verde, mas não aborda nenhuma alternativa tecnológica para o processo de obtenção da amônia.

Montanhão et al. (2014) inferem que sempre há problemas em relação às alternativas que são exigidas. Os autores apontam que geralmente, há um desleixo em abordar estas alternativas e que nas poucas vezes que são apresentadas, estão incompletas ou mal feitas.

Já os critérios que não foram atendidos de nenhuma forma, correspondem a 29% e estão diretamente relacionados com a exigência legal de que as alternativas devem ser confrontadas com a hipótese de não implantação do empreendimento, e isso não acontece em nenhum momento. Confrontar as alternativas com a hipótese de não implantação do empreendimento é importante porque permite avaliar se o projeto é realmente necessário ou se os benefícios esperados justificam os impactos ambientais, sociais e econômicos associados. Segundo Sanchez (2020), essa análise oferece um cenário de referência, conhecido como "cenário zero", que ajuda a compreender o estado atual do meio ambiente e o que seria preservado caso o empreendimento não fosse realizado.

Outra exigência legal é a consideração dos planos e programas governamentais relacionados ao projeto e suas alternativas, que foi considerada parcialmente atendida. O estudo apresentou menções a alguns programas, mas sem estabelecer uma correlação clara com o empreendimento. Por exemplo, o Bolsa Família foi descrito em detalhes ao longo de duas páginas, porém sem qualquer conexão direta com o contexto do projeto, caracterizando uma inclusão desnecessária. Da mesma forma, o Plano Mais Brasil foi citado de maneira superficial e sem articulação com os objetivos ou impactos do empreendimento. De acordo com da Silva et al. (2019), a ausência de uma análise estruturada e relevante sobre os planos governamentais pertinentes compromete a avaliação da conformidade do projeto com políticas públicas, além de enfraquecer o alinhamento estratégico necessário para uma gestão sustentável e integrada.

4.1.2 EIA: Diagnóstico ambiental

A etapa de diagnóstico ambiental no Estudo de Impacto Ambiental é muito fundamental, pois fornece uma compreensão detalhada das condições atuais do ambiente onde o empreendimento será implementado. Este foi um dos dois blocos em que o EIA da planta de produção de amônia verde conseguiu atender a todos os critérios de forma satisfatória (Tabela 5). Orique e Veronez (2024) inferem que o diagnóstico, na grande maioria das vezes, é um dos blocos que mais tem um rigor processual.

Essa análise inicial do diagnóstico é essencial para identificar os componentes ambientais mais sensíveis, avaliar os potenciais impactos e subsidiar a definição de medidas mitigadoras e compensatórias. De acordo com a Resolução do CONAMA 01 de 1986, o diagnóstico deve contemplar o meio físico, biótico e socioeconômico. Portanto, são considerados fatores como clima, solo, vegetação, fauna, qualidade da água, aspectos culturais e econômicos da região, entre outros.

Segundo Sanchez (2020), para conduzir essa etapa, podem ser adotadas duas abordagens: exaustiva e dirigida. Na abordagem dirigida, o foco é dado aos elementos ambientais mais relevantes, priorizando componentes que apresentam maior suscetibilidade a

alterações. Já na abordagem exaustiva, todos os elementos do meio são analisados detalhadamente, garantindo um levantamento amplo e abrangente, gerando centenas de páginas com informações do diagnóstico, como o caso desse EIA em análise. Por meio de suas 462 páginas de diagnóstico, o estudo ambiental utilizou a abordagem exaustiva, mas rigorosa, com introdução clara, metodologia detalhada e ampla organização de dados. Incluiu tabelas precisas, mapas em alta resolução e imagens de qualidade, documentando as condições ambientais de forma abrangente.

Tabela 5 – Análise da efetividade processual do EIA (bloco 2) da planta de produção de amônia verde no estado do Ceará, Brasil.

BLOCO	CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	Análise de conformidade
Diagnóstico ambiental	C8 EIA	Diagnóstico ambiental do meio físico	
	C9 EIA	Diagnóstico ambiental do meio biótico	
	C10 EIA	Diagnóstico ambiental do meio socioeconômico	

Fonte: Autor (2025).

De acordo com Filho (2021) a abordagem exaustiva é ideal em empreendimentos que podem causar impactos significativos em diversas dimensões ambientais. Portanto, essa espessa caracterização ambiental é crucial para o nível da atividade em análise.

4.1.3 EIA: Análise de impactos

O outro bloco que conseguiu cumprir todos os critérios estabelecidos foi a seção de Análise dos Impactos do EIA, que demonstrou um trabalho minucioso e abrangente, abordando todos os aspectos necessários para uma avaliação criteriosa (Tabela 6). Montanhão et al. (2014) aponta que uma atenção maior é dada a esta etapa, pois ela é decisória para o delineamento e condução do projeto, sendo um dos blocos que também tem o maior atendimento de critérios.

O estudo identificou e avaliou sistematicamente os impactos nas fases de implantação, operação e planejamento (não exigido na legislação), assegurando uma visão clara das alterações esperadas em diferentes momentos do ciclo de vida do empreendimento. Foi realizada uma análise detalhada dos impactos positivos e negativos, com identificação, previsão de magnitude e interpretação das suas consequências.

A avaliação também considerou a distinção entre impactos diretos e indiretos, imediatos e de médio e longo prazos, temporários e permanentes, sempre fundamentada na previsão da magnitude e na interpretação dos efeitos associados. Além disso, o estudo avançou ao analisar o grau de reversibilidade dos impactos, fornecendo uma perspectiva essencial sobre as possibilidades de mitigação e recuperação ambiental. Ainda, destacou as propriedades cumulativas e sinérgicas dos impactos, aprofundando a análise das interações entre diferentes efeitos ao longo do tempo.

Por fim, a distribuição dos ônus e benefícios sociais foi cuidadosamente analisada, evidenciando como os impactos são percebidos pelas comunidades e outros atores envolvidos. Com essa abordagem robusta, o estudo não apenas cumpriu os requisitos técnicos e legais, mas também garantiu uma base sólida para decisões informadas e responsáveis sobre a viabilidade e os ajustes necessários ao empreendimento.

Os atributos escolhidos para avaliar esses impactos foram: intensidade, relevância, duração, reversibilidade, ordem, temporalidade, escala, probabilidade, cumulatividade e

sinergia. A fim de se ponderar esses impactos ambientais identificados e/ou previsíveis para o empreendimento, foram adotadas algumas variáveis na avaliação dos impactos, como Variável Magnitude (VMAG); Variável Importância (VIMP); Variável Intensidade (VINT); e, Variável Caráter (VCAR).

Tabela 6 – Análise da efetividade processual do EIA (bloco 3) da planta de produção de amônia verde no estado do Ceará, Brasil.

BLOCO	CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	Análise de conformidade
Análise dos impactos	C11 EIA	Identificar os impactos nas fases de implantação e operação	
	C12 EIA	Avaliar sistematicamente os impactos nas fases de implantação e operação	
	C13 EIA	Impactos positivos e negativos: identificação, previsão de magnitude e interpretação	
	C14 EIA	Impactos diretos e indiretos: identificação, previsão de magnitude e interpretação	
	C15 EIA	Impactos imediatos e a médio e longo prazos: identificação, previsão de magnitude e interpretação	
	C16 EIA	Impactos temporários e permanentes: identificação, previsão de magnitude e interpretação	
	C17 EIA	Grau de reversibilidade dos Impactos	
	C18 EIA	Propriedades cumulativas e sinérgicas dos impactos	
	C19 EIA	Distribuição dos ônus e benefícios sociais dos impactos	

Fonte: Autor (2025).

Uma excelente avaliação de impactos nos EIA é essencial para garantir o desenvolvimento sustentável do projeto, minimizando danos ambientais e sociais (Oliveira et al., 2019). Ela permite identificar impactos diretos e indiretos, adotando medidas de mitigação adequadas. Além disso, assegura conformidade com a legislação, promove a transparência no licenciamento e garante uma distribuição justa dos benefícios.

4.1.4 EIA: Medidas mitigadoras e programa de acompanhamento

A última etapa do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) é o bloco que aborda as Medidas Mitigadoras e o Programa de Acompanhamento e Monitoramento dos Impactos. Nesse contexto, o EIA da planta de produção de amônia verde atendeu mais da metade dos critérios, atingindo 67% de satisfação. Dentre os critérios atendidos, está a definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, que consistem em identificar e propor ações capazes de prevenir, minimizar, corrigir ou compensar os impactos ambientais adversos identificados no estudo (Tabela 7). O EIA aponta pelo menos uma medida de mitigação para cada impacto gerado. Quando negativo, a medida é para minimizar, atenuar ou eliminar o impacto. Quando positivo, a medida busca intensificar o impacto. Por exemplo, para mitigar a supressão da

vegetação que é inevitável no ato de construção da planta de produção de amônia verde, o estudo traz o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) como uma medida para mitigar as consequências desta supressão. A intensificação de um impacto positivo também é abordada quando, por exemplo, o estudo aponta a cooperação entre municípios vizinhos como estratégia para estimular o mercado local.

Tabela 7 – Análise da efetividade processual do EIA (bloco 4) da planta de produção de amônia verde no estado do Ceará, Brasil.

BLOCO	CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	Análise de conformidade
Medidas mitigadoras e programa de acompanhamento	C20 EIA	Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos	Verde
	C21 EIA	Avaliação da eficiência de cada medida de mitigação	Vermelho
	C22 EIA	Programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos	Verde

Fonte: Autor (2025).

Além disso, também cumpriu o critério referente ao programa de acompanhamento e monitoramento, que prevê a implementação de estratégias para verificar a eficácia dessas medidas e acompanhar os impactos ao longo do tempo, garantindo o controle ambiental contínuo.

No entanto, o EIA não incluiu a avaliação da eficiência de cada medida de mitigação. Esse critério, que é exigido na legislação ambiental brasileira, é fundamental para mensurar e validar a eficácia das ações propostas, permitindo ajustar e aprimorar as estratégias de mitigação, bem como promover com maior precisão e eficiência na gestão dos impactos ambientais.

4.2 RIMA

Como mencionado anteriormente, o RIMA (Relatório de Impacto Ambiental) é a conclusão do EIA e sintetiza de forma clara e acessível as informações e análises apresentadas ao longo do estudo. De acordo com Oliveira et al. (2019) e da Silva, Aguiar e Cabral (2020), sua principal função é comunicar os resultados da avaliação dos impactos ambientais de maneira compreensível para o público em geral, incluindo órgãos governamentais e a sociedade. Além disso, no RIMA, são destacadas as medidas de mitigação e compensação propostas, além das alternativas analisadas. Portanto, ele serve como base para a decisão sobre a viabilidade do projeto e o licenciamento ambiental, desempenhando um papel crucial na transparência e no processo de participação pública.

Para isso, a Resolução CONAMA 01/1986 define diversos aspectos mínimos que devem ser considerados neste tipo de estudo ambiental, visando sempre o repasse mais claro de informações. No RIMA da planta de produção de amônia menos da metade do que é exigido legalmente foi atendido (Tabela 8, Figura 7), valor similar a outras investigações. Ao analisarem os RIMAs das obras de duplicação de rodovias brasileiras de 32 municípios do Brasil, Oliveira et al. (2019) concluíram que apenas 35% se enquadraram entre bom-ideal.

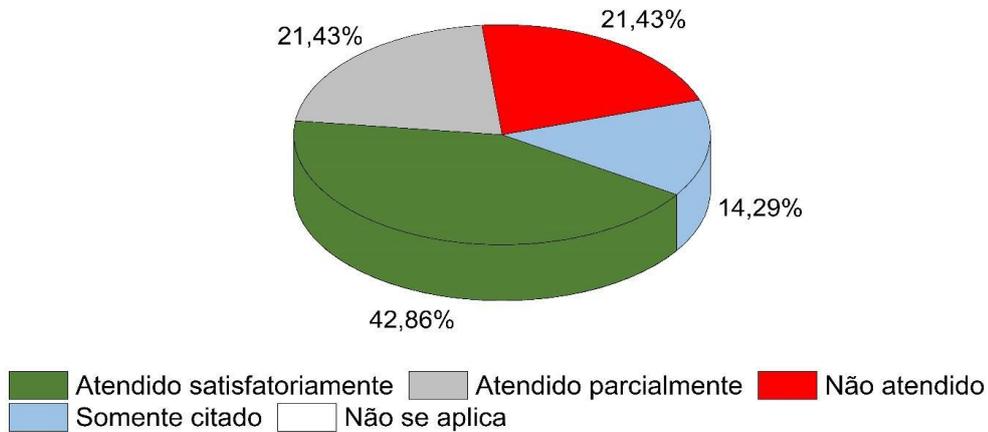
Tabela 8 – Análise da efetividade processual do RIMA da planta de produção de amônia verde no estado do Ceará, Brasil.

BLOCO	CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	Análise de conformidade
RIMA	C23 RIMA	Objetivos e justificativas do projeto	
	C24 RIMA	Compatibilidade do projeto com as políticas setoriais, planos e programas	
	C25 RIMA	Descrição do projeto	
	C26 RIMA	Descrição das alternativas tecnológicas e locacionais	
	C27 RIMA	Especificação das fases de construção e operação	
	C28 RIMA	Síntese dos resultados dos estudos de diagnósticos ambiental da área de influência	
	C29 RIMA	Descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, considerando o projeto	
	C30 RIMA	Descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, considerando as alternativas	
	C31 RIMA	Descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, considerando os horizontes de tempo de incidência dos impactos	
	C32 RIMA	Caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência considerando o projeto e suas alternativas	
	C33 RIMA	Caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência na hipótese de não realização do projeto	
	C34 RIMA	Efeito esperado das medidas mitigadoras em relação aos impactos negativos	
	C35 RIMA	Programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos	
	C36 RIMA	Recomendação quanto à alternativa mais favorável	

Fonte: Autor (2025).

Figura 7 – Efetividade processual do EIA da planta de produção de amônia verde em análise.

RELATÓRIO DE IMPACTO DO MEIO AMBIENTE:



Fonte: Autor (2025).

Apesar do baixo atendimento aos critérios estabelecidos, o estudo descreveu o projeto de forma clara e adequada, abordando de maneira detalhada a definição dos objetivos e a justificativa do empreendimento. Além disso, analisou a compatibilidade do projeto com as políticas setoriais, planos e programas relevantes. A síntese dos resultados dos estudos de diagnóstico ambiental da área de influência foi bem elaborada, proporcionando uma visão abrangente sobre o contexto ambiental. Também foi apresentada a caracterização da qualidade ambiental futura da área, considerando a hipótese de não realização do projeto. Por fim, o estudo incluiu programas de acompanhamento e monitoramento dos impactos, garantindo a gestão contínua dos efeitos do empreendimento.

Todavia, como consequência das fragilidades do EIA, no RIMA a descrição das alternativas locais e a caracterização da qualidade futura da área, deixam a desejar e foram categorizadas como parcialmente atendidas, correspondendo a quase 22% dos critérios.

Apesar de abordar no EIA os impactos de forma bastante satisfatória, no RIMA, estes impactos são apenas citados de forma superficial, sem a devida correlação entre os impactos e as alternativas analisadas no estudo. Essa ausência compromete a compreensão da relação entre as diferentes opções consideradas para o projeto e os potenciais impactos associados a cada uma, prejudicando a avaliação comparativa e a justificativa da alternativa escolhida.

Além disso, o RIMA também falha em apresentar os horizontes de tempo de incidência dos impactos, uma informação crucial para entender a duração, frequência e distribuição temporal dos efeitos ambientais. A ausência dessa análise detalhada dificulta a visualização de quais impactos são de curto, médio ou longo prazo e, conseqüentemente, enfraquece a tomada de decisões fundamentadas sobre o planejamento e a gestão ambiental do empreendimento. Essas lacunas tornam o RIMA menos eficaz como ferramenta de comunicação e transparência, comprometendo o objetivo de informar adequadamente o público e os tomadores de decisão sobre os impactos do projeto.

De acordo com Demori e Montañó (2024), a ausência de critérios exigidos pelas legislações ambientais e pelos órgãos ambientais competentes, pode inviabilizar a participação social efetiva no processo, já que informações incompletas ou mal elaboradas dificultam o entendimento da população e dos demais interessados sobre os impactos reais do projeto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto do Meio Ambiente (RIMA) de uma planta de produção de amônia verde no estado do Ceará foram analisados, respectivamente, por meio de 22 e 14 critérios, obtendo um cenário diferente.

O RIMA é amplamente reconhecido como a síntese conclusiva do EIA, sendo elaborado com o objetivo de apresentar as informações de forma clara e acessível ao público, incluindo os tomadores de decisão e a sociedade. O RIMA caracteriza-se por sua função de comunicar os resultados do EIA, destacando os impactos ambientais identificados, as medidas mitigadoras propostas e os benefícios e riscos associados ao empreendimento analisado. Sendo assim, era de se esperar que obtivesse qualidade semelhante ou melhor que o EIA, o que não aconteceu nesse estudo. Enquanto cerca de 77% dos critérios estabelecidos para analisar a qualidade do EIA foram atendidos, apenas 42% foram atendidos pelo RIMA. Isso reforça a necessidade de capacitação e supervisão criteriosa para garantir que o RIMA cumpra sua função de forma eficiente, refletindo com fidelidade e qualidade o conteúdo do EIA.

O nível de atendimento do EIA em análise é superior ao nível encontrado recorrente na literatura. Apesar de ter realizado com excelência o diagnóstico e a avaliação de impactos, apresentou algumas fragilidades. Estes pontos fracos envolvem as alternativas tecnológicas, no confronto destas e das alternativas locais com a hipótese de não implantação do projeto, e na avaliação da eficiência de cada medida de mitigação proposta.

Já o RIMA atendeu menos da metade dos critérios e apesar da qualidade do EIA em relação à Análise dos impactos, o RIMA não os descreveu de forma adequada e muito menos os correlacionou com as alternativas. Além disso, o efeito esperado das medidas mitigadoras em relação aos impactos negativos não foi abordado.

Portanto, a realização deste trabalho evidencia a importância de avaliar a conformidade dos estudos ambientais com a legislação vigente, destacando-se como ferramenta essencial para garantir a qualidade e a eficácia nos processos de licenciamento ambiental. Este tipo de avaliação não apenas assegura a proteção dos recursos naturais, mas também contribui para a tomada de decisões fundamentadas e a minimização de impactos socioambientais. Além disso, a partir dos dados obtidos é possível estabelecer um guia prático, fornecendo um passo a passo estruturado para a elaboração de um EIA de qualidade, servindo como referência tanto para profissionais da área quanto para instituições públicas e privadas que buscam desenvolver projetos ambientalmente sustentáveis e alinhados com as exigências legais. Assim, reforça-se o papel central de estudos dessa natureza na promoção de um desenvolvimento equilibrado entre crescimento econômico e preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ACHEAMPONG, Alex O.; OPOKU, Eric Evans Osei. Environmental degradation and economic growth: investigating linkages and potential pathways. **Energy Economics**, v. 123, p. 106734, 2023.

AGOSTINI, Claudio A.; ARMIJO, Franco A.; SILVA, Carlos; NASIROV, Shahriyar. The role of frequency regulation remuneration schemes in an energy matrix with high penetration of renewable energy. **Renewable Energy**, v. 171, p. 1097-1114, 2021.

BAIRRÃO, Diego; SOARES, João; ALMEIDA, José; FRANCO, John F.; VALE, Zita. Green Hydrogen and Energy Transition: current state and prospects in Portugal. **Energies**, v. 16, n. 1, p. 551, 2023.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de junho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: DOU, 2001b. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm> Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasília, DF: DOU, 1986. Disponível em: <www.ima.al.gov.br/wizard/docs/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20N%C2%BA001.1986.pdf> Acesso em: 24 set. 2022.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 09, de 06 de dezembro de 1990**. Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral, classes I, III a IX. Brasília, DF: DOU, 1990a. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=106> Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 10, de 06 de dezembro de 1990**. Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral, classe II. Brasília, DF: DOU, 1990b. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=107> Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre conceitos, sujeição, e procedimento para obtenção de Licenciamento Ambiental, e dá outras providências. Brasília, DF: DOU, 1997. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/CONAMA%20237_191297.pdf>. Acesso em: 24 set. 2022.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001**. Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto. Brasília, DF: DOU, 2001a. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2001/res_conama_279_2001_licenciamentoambientalsimplificadoparaemprendimentoseltricos.pdf> Acesso em: 24 set. 2024.

CEARÁ. **Instrução Normativa SEMACE nº 4 de 26 de dezembro de 2013**. Estabelece normas e procedimentos a serem seguidos pela SEMACE nas diversas etapas e fases do licenciamento ambiental. Fortaleza, CE: DOU, 2013. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=264561>> Acesso em: 24 set. 2024.

CEARÁ. **Instrução Normativa SEMACE nº 02 de 11 de abril de 2019**. Estabelece procedimentos, critérios, parâmetros e custos aplicados aos processos de licenciamento e autorização ambiental no âmbito da superintendência estadual do meio ambiente – SEMACE. Fortaleza, CE: DOU, 2019. Disponível em: <<https://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/46/2019/05/Resolucao-COEMA-02-de-2019.pdf>> Acesso em: 04 dez. 2024.

ÇETIN, Murat; SARĐGÜL, Sevgi Sümerli; TOPCU, Betül Altay; ALVARADO, Rafael; KARATASER, Büşra. Does globalization mitigate environmental degradation in selected emerging economies? assessment of the role of financial development, economic growth, renewable energy consumption and urbanization. **Environmental Science And Pollution Research**, v. 30, n. 45, p. 100340-100359, 2023.

CHEN, Jingguang G.; CROOKS, Richard M.; SEEFELDT, Lance C.; BREN, Kara L.; BULLOCK, R. Morris; DARENSBOURG, Marcetta Y.; HOLLAND, Patrick L.; HOFFMAN, Brian; JANIK, Michael J.; JONES, Anne K.. Beyond fossil fuel–driven nitrogen transformations. **Science**, v. 360, n. 6391, p. 11-1, 2018. American Association for the Advancement of Science (AAAS).

DA SILVA, Francisco Luanderson da; SILVA, Karina Albuquerque da; SILVA, Antônio Tiago Fonseca da; SILVA, Luana Viana Costa e. Estudo de Impactos Ambientais à luz dos princípios ambientais do Direito: o caso da Barragem de Fronteiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 2019, João Pessoa (Pb). **Anais**. João Pessoa: UFPB, p. 1-10. 2019.

DA SILVA, Thamires Colares. Qualidade Processual do EIA/RIMA de um Complexo Turístico no Ceará. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) -Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2020.

DA SILVA, Vicente Elício Porfiro Sales Gonçalves; AGUIAR, Eliel Albuquerque; CABRAL, Najila Rejanne Alencar Julião. **Análise Da Qualidade Processual Do Eia/Rima De Um Loteamento Para Fins De Licenciamento Ambiental**. Revista Conexões Ciência e Tecnologia. Fortaleza/CE, v. 14, n. 3, p. 99 - 106, 2020.

De ALMEIDA, Alexandre Nascimento; MARTINS, Sabrina Dias. EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DOS PLANOS DE MITIGAÇÃO E MONITORAMENTO NOS ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 12355, 2023.

DEMORI, Vinícius Arthico; MONTAÑO, Marcelo. Opportunities to Improve the Quality of Environmental Reports and the Effectiveness of Environmental Impact Assessment: a case of electric power transmission systems in Brazil. **Journal Of Environmental Protection**, v. 15, n. 02, p. 124-140, 2024.

DHAR, Amalesh; NAETH, M. Anne; JENNINGS, P. Dev; EL-DIN, Mohamed Gamal.

Perspectives on environmental impacts and a land reclamation strategy for solar and wind energy systems. **Science Of The Total Environment**, v. 718, p. 134602, 2020.

EIXOS. Agência. Euronav planeja adicionar 120 navios a hidrogênio e amônia verde na frota. São Paulo, Brasil. Disponível em: <https://eixos.com.br/hidrogenio/euronav-planeja-adicionar-120-navios-a-hidrogenio-e-amonia-verde-na-frota/>. Acesso em 22 ago 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Matriz energética e elétrica. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 10 set. 2024.

FILHO, Severino Soares AGRA. Licenciamento Ambiental no Brasil. Salvador: Edufba, 2021. 157 p.

GALLARDO, Amarilis Lucia Casteli Figueiredo; BOND, Alan. Tiering biodiversity issues from strategic environmental assessment to environmental impact assessment: exploring documentary evidence from Brazil and England. **Impact Assessment And Project Appraisal**, v. 42, n. 3, p. 281-293, 2024.

GALUSNYAK, Stefan Cristian; PETRESCU, Letitia; SANDU, Vlad-Cristian; CORMOS, Calin-Cristian. Environmental impact assessment of green ammonia coupled with urea and ammonium nitrate production. **Journal Of Environmental Management**, v. 343, p. 118215, 2023.

GIL-GARCÍA, Isabel C.; FERNÁNDEZ-GUILLAMÓN, Ana; GARCÍA-CASCALES, M. Socorro; MOLINA-GARCÍA, Angel; DAGHER, Habib. A green electrical matrix-based model for the energy transition: Maine, USA case example. **Energy**, v. 290, p. 130246, 2024.

GOMES, L. G. A. Análise da efetividade do estudo de impacto ambiental *Eia/Rima* na carcinicultura: o caso do município de Aracati – CE. 185 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2009.

GURGEL, Virgínia Pinheiro. Análise da efetividade processual de Estudos de Impacto Ambiental de três usinas eólicas do Ceará. 45p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Saneamento Ambiental) - Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2016.

IBERDROLA. Amônia verde: a revolução sustentável na indústria química. Bilbao, Espanha, 2023. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/nossa-atividade/hidrogenio-verde/amonia-verde>. Acesso em; 14 set. 2024.

INCER-VALVERDE, Jimena; KORAYEM, Amira; TSATSARONIS, George; MOROSUK, Tatiana. “Colors” of hydrogen: definitions and carbon intensity. **Energy Conversion And Management**, v. 291, p. 117294, 2023.

KOUROUGIANNI, Fanourios; ARSALIS, Alexandros; OLYMPIOS, Andreas V.; YIASOUMAS, Georgios; KONSTANTINOU, Charalampos; PAPANASTASIOU, Panos; GEORGHIU, George E. A comprehensive review of green hydrogen energy systems. **Renewable Energy**, v. 231, p. 120911, 2024.

LIMA, M.A.; MENDES, L.F.R.; MOTHE, G.A.; LINHARES, F.G.; CASTRO, M.P.P. de;

SILVA, M.G. da; SHEL, M.S. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: reaching the goals of the paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, v. 33, p. 100504, 2020.

LIU, Huazhang. Ammonia synthesis catalyst 100 years: practice, enlightenment and challenge. **Chinese Journal Of Catalysis**, v. 35, n. 10, p. 1619-1640, 2014.

MA, Nan; ZHAO, Weihua; WANG, Wenzhong; LI, Xiangrong; ZHOU, Haiqin. Large scale of green hydrogen storage: opportunities and challenges. **International Journal Of Hydrogen Energy**, v. 50, p. 379-396, 2024.

MENDES, Rafaella Gouveia; VALLE JUNIOR, Renato Farias do; SILVA, Maytê Maria Abreu Pires de Melo; FERNANDES, Gabriel Henrique de Moraes; FERNANDES, Luís Filipe Sanches; PISSARRA, Teresa Cristina Tarlé; MELO, Marília Carvalho de; VALERA, Carlos Alberto; PACHECO, Fernando António Leal. Scenarios of environmental deterioration in the Paraopeba River, in the three years after the breach of B1 tailings dam in Brumadinho (Minas Gerais, Brazil). **Science Of The Total Environment**, v. 891, p. 164426, 2023.

MONTAÑO, M., et al. Revisão da qualidade de estudos de impacto ambiental de pequenas centrais hidrelétricas. **Holos Environment**, v.14, n.1, p. 1-14, 2014.

MOTA, SUETÔNIO. **Introdução à engenharia ambiental**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 388 p.

NAZIR, Muhammad Shahzad; ALI, Nisar; BILAL, Muhammad; IQBAL, Hafiz M.N.. Potential environmental impacts of wind energy development: a global perspective. **Current Opinion In Environmental Science & Health**, v. 13, p. 85-90, 2020.

OJELADE, Opeyemi A.; ZAMAN, Sharif F.; NI, Bing-Jie. Green ammonia production technologies: a review of practical progress. **Journal Of Environmental Management**, v. 342, p. 118348, 2023.

OLABI, A.G.; ABDELKAREEM, Mohammad Ali; AL-MURISI, Mohammed; SHEHATA, Nabila; ALAMI, Abdul Hai; RADWAN, Ali; WILBERFORCE, Tabbi; CHAE, Kyu-Jung; SAYED, Enas Taha. Recent progress in Green Ammonia: production, applications, assessment; barriers, and its role in achieving the sustainable development goals. **Energy Conversion And Management**, v. 277, p. 116594, 2023.

OLIVEIRA, Alexandra M; BESWICK, Rebecca R; YAN, Yushan. A green hydrogen economy for a renewable energy society. **Current Opinion In Chemical Engineering**, v. 33, p. 100701, 2021.

OLIVEIRA, Anna Luiza Ferrari; CAVALCANTE, Francielle Silva; MIOTO, Camila Leonardo; BARBOSA, Domingos Sávio. Análise da qualidade dos Relatórios De Impacto Ambiental (RIMA) das obras de duplicação de rodovias brasileiras. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 115, 32019.

ORIQUE, S. R.; VERONEZ, F. A. Avaliação da qualidade dos estudos de impacto ambiental de projetos de linhas de transmissão submetidos ao licenciamento ambiental federal (2018-2022). **Geoambiente**, n.48, p. 94 – 113, 2024.

OSORIO-TEJADA, Jose; TRAN, Nam N.; HESSEL, Volker. Techno-environmental assessment of small-scale Haber-Bosch and plasma-assisted ammonia supply chains. **Science Of The Total Environment**, v. 826, p. 154162, 2022.

PANCHENKO, V.A.; DAUS, Yu.V.; KOVALEV, A.A.; YUDAEV, I.V.; LITTI, Yu.V.. Prospects for the production of green hydrogen: review of countries with high potential. **International Journal Of Hydrogen Energy**, v. 48, n. 12, p. 4551-4571, 2023.

PEREIRA, G. B. Análise da Qualidade do Estudo de Impacto Ambiental e do Relatório de Impacto do Meio Ambiente (EIA/RIMA) da Barragem Fronteiras. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2022.

PEREIRA, Valdeniza Delmondes; GÓIS, Valéria Camboim. Análise do EIA/RIMA do Terminal de Combustíveis da Paraíba (TECOP) para fins de licenciamento ambiental. **Revista Principia**, João Pessoa, n. 30, p. 39-47, 2016.

PEREIRA, Wagner de Souza; KELECOM, Alphonse; LOPES, José Marques; CARMO, Alessander Sá do; PADILHA FILHO, Lucas Gomes; CAMPELO, Emanuele Lazzaretti Cordova; POTENCIANO, Nádia Regina Ernesto Pereira; SCHENBERG, Ana Clara Guerrini; SILVA, Lucas Faria da; SILVA, Ademir Xavier da. Environmental impact assessment due to the intake of uranium contained in surface waters in a semi-arid region in Brazil. **Environmental Science And Pollution Research**, v. 31, n. 18, p. 27085-27098, 2024.

PRADO, Flávia Michele Vasconcelos. **Efetividade processual dos Estudos de Impacto Ambiental de Eólicas no estado do Ceará**. 2017. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2017.

RABAIA, Malek Kamal Hussien; ABDELKAREEM, Mohammad Ali; SAYED, Enas Taha; ELSAID, Khaled; CHAE, Kyu-Jung; WILBERFORCE, Tabbi; OLABI, A.G.. Environmental impacts of solar energy systems: a review. **Science Of The Total Environment**, v. 754, p. 141989, 2021.

RAHMAN, Abidur; FARROK, Omar; HAQUE, Md Mejbaul. Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 161, p. 112279, 2022.

RIBEIRO, A. L. G.; ALMEIDA, M. R. R. **Proposta de um Roteiro Geral para Elaboração e Verificação da Qualidade do Estudo de Impacto Ambiental (EIA)**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 11, n. 06, p. 2173-2185, 2018.

SADLER, B. **Environmental Assessment in a changing world: evaluating practice to improve performance: Final Report**. Canada: International Association for Impact Assessment, 1996.

Sánchez, Luis Enrique. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

SANTOS, Pollyana Martins; LORETO, Maria das Dores Saraiva de; OLIVEIRA, Marcelo Leles Romarco de. O licenciamento ambiental na legislação brasileira: uma análise a partir da visão crítica da justiça ambiental. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, v. 13, n. 2, p. 329-364, 2022.

SAYED, Enas Taha; WILBERFORCE, Tabbi; ELSAID, Khaled; RABAIA, Malek Kamal Hussien; ABDELKAREEM, Mohammad Ali; CHAE, Kyu-Jung; OLABI, A.G.. A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: wind, hydro, biomass and geothermal. **Science Of The Total Environment**, v. 766, p. 144505, 2021.

SEKHAR, S Joseph; SAMUEL, Melvin S.; GLIVIN, Godwin; LE, Tg; MATHIMANI, Thangavel. Production and utilization of green ammonia for decarbonizing the energy sector with a discrete focus on Sustainable Development Goals and environmental impact and technical hurdles. **Fuel**, v. 360, p. 130626, 2024.

TOOGE, Rikardy. InvestNews. Com R\$ 18 bilhões de subsídios, empresas mergulham na corrida do H2V. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://investnews.com.br/negocios/entretens-de-verde-empresas-mergulham-na-corrída-do-hidrogenio/>. Acesso em: 23 dez. 2024.

WANG, Miao; KHAN, Mohd A.; MOHSIN, Imtinan; WICKS, Joshua; IP, Alexander H.; SUMON, Kazi Z.; DINH, Cao-Thang; SARGENT, Edward H.; GATES, Ian D.; KIBRIA, Md Golam. Can sustainable ammonia synthesis pathways compete with fossil-fuel based Haber-Bosch processes? **Energy & Environmental Science**, v. 14, n. 5, p. 2535-2548, 2021.

YE, Dongpei; TSANG, Shik Chi Edman. Prospects and challenges of green ammonia synthesis. **Nature Synthesis**, v. 2, n. 7, p. 612-623, 2023.