

HIDROGÊNIO VERDE NO URUGUAI UMA ANÁLISE DE SEU IMPACTO NA LOGISTICA NACIONAL

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-129>

Data de submissão: 10/11/2024

Data de publicação: 10/12/2024

Felipe Lavega

MBA Logemp UFF.

E-mail: felipe.lavega5@gmail.com

Otacilio José Moreira

Programa de Posgraduação em Administração (PPGAd), Universidade Federal Fluminense – UFF.

Professor convidado.

E-mail: otaciliomoreira@id.uff.br.

ORCID: 0000-0001-9271-1210

Web of Science ResearcherID - AEQ-8094-2022

Américo da Costa Ramos Filho

DSc., CMQ/OE, CQE

Professor Associado II

Departamento de Administração – STA

Universidade Federal Fluminense.

E-mail: americoramos@id.uff.br

ORCID iD:<https://orcid.org/0000-0003-4643-9767>

Web of Science Researcher ID - AAG-5161-2019.

Maria Carolina Rodrigues

DsC Universidade do Algarve (CinTurs).

E-mail: macarolrodrigues@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2575-861>

RESUMO

O objetivo desde artigo é analisar a atualidade do “Hidrogênio verde” produzido a partir da eletrólise de água, com o uso de energia gerada a partir de fontes renováveis (eólica e/ou fotovoltaica). No Uruguai, e seu impacto na Logística desde os desafios socioeconômicos e de infraestrutura para produção, armazenagem, distribuição e exportação. Já que o Uruguai vem impulsionando o desenvolvimento de produção e seguindo os objetivos traçados pela descarbonização estabelecida mundialmente com uma mudança na matriz energética a traves de energias renováveis como politicas públicas que fortalecem esse desenvolvimento. Foi utilizado o método qualitativo, explicativo, descriptivo, envolvendo pesquisa bibliográfica e estudo de caso, para poder avaliar os resultados como assim às opiniões dos Stakeholders e principais atores na produção nacional. Com o estudo de caso podemos concluir neste artigo que o Hidrogênio verde tem potencial para ter um impacto significativo na logística: Desde a redução das emissões de carbono no transporte de mercadorias até o fornecimento de uma solução para o armazenamento de energias renováveis, ajudando a tornar a logística mais sustentável e a combater as alterações climáticas. De acordo com a revisão literária do “Roteiro do Hidrogênio Verde no Uruguai” e o resultado da análise das mesas de trabalho, visualiza-se uma ótima oportunidade competitiva para o Uruguai o que impactara positivamente na Logística Nacional.

Palavras-chave: Hidrogênio Verde. Energia Renovável. Logística. Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O hidrogênio verde, produzido a partir da eletrólise da água utilizando energia gerada por fontes renováveis, como a eólica e a fotovoltaica, tem se destacado como uma solução promissora para a descarbonização da matriz energética global. No Uruguai, onde o desenvolvimento de energias renováveis é fortemente impulsionado por políticas públicas, a produção de hidrogênio verde representa uma oportunidade estratégica para transformar a logística nacional (Castro et al., 2022).

Em um mundo impulsionado pela necessidade urgente de combater as mudanças climáticas, Castro et al. (2022) consideram os países da América Latina, especialmente Chile, Colômbia, Brasil e Uruguai, muito competitivos, dado seu potencial de produção de energia renovável. Esses países já iniciaram a elaboração de estratégias para o desenvolvimento de hidrogênio de baixo carbono a longo prazo. Assim, as recentes notícias sobre o compromisso do Uruguai com o desenvolvimento e a produção de hidrogênio verde posicionam o país como uma das lideranças globais na busca por um futuro sustentável e descarbonizado.

Impulsionado por políticas nacionais abrangentes destinadas a promover as energias renováveis, o Uruguai está reduzindo rapidamente sua dependência de combustíveis fósseis e adotando um cenário energético mais limpo e verde. Essas iniciativas estabelecem práticas para mitigar a degradação ambiental, impactando diretamente a qualidade de vida dos habitantes do planeta (Riaño, 2021). O estudo de Bouzas, Telíz e Díaz (2024) explora o potencial do Uruguai para se tornar um líder na produção de hidrogênio verde, considerando seu significativo investimento em energias renováveis. Além disso, os autores apontam os desafios e oportunidades associados à implantação dessa tecnologia, incluindo questões de infraestrutura, armazenamento e distribuição.

Essas energias representam 97% da matriz energética uruguaia. De acordo com Ferragut et al. (2022), esse percentual reflete o consumo interno de energia do país, baseado em fontes limpas, como eólica, fotovoltaica, hidrelétrica e biomassa, posicionando o Uruguai na vanguarda da América do Sul e gerando importantes vantagens competitivas no setor.

A pedra angular dessa transformação reside nas oportunidades comerciais e na geografia do país. Contudo, ressalta-se que o compromisso de todo o sistema político nacional, que de maneira unânime apoia e move o desenvolvimento de energias limpas, é de suma importância. Isso pode ser observado na Lei Nº 16.906, conhecida como “Lei de Inversões”, que move e protege os investimentos estrangeiros no território nacional, estimulando o desenvolvimento de projetos milionários no setor energético. Exemplos incluem os projetos "H24U", "Tambor Hub Hidrogênio Verde" e "HIF Global", que destinará 4 bilhões de dólares para a produção de hidrogênio verde e derivados (Schaich, 2023).

A questão central que este artigo busca responder é: Como a produção e o uso de hidrogênio verde no Uruguai podem impactar a logística nacional, considerando os desafios socioeconômicos e de infraestrutura?

Este artigo tem como objetivo avaliar os impactos do projeto Uruguai de hidrogênio verde na Logística Nacional, com foco nos desafios socioeconômicos e de infraestrutura relacionados à produção, armazenamento, distribuição e exportação desse combustível.

Os objetivos secundários são: analisar os desafios internos tanto em relação ao setor empresarial, a infraestrutura e em relação a sociedade, determinar com os envolvidos nos projetos as vantagens e desvantagens do desenvolvimento dos projetos do hidrogênio verde no Uruguai, confirmando a importância do Governo com políticas de compromissos sustentáveis fixado no Roteiro do Hidrogênio verde no Uruguai.

O artigo se aprofunda nas implicações mais amplas do hidrogênio verde para a logística, lançando luz sobre o profundo impacto que ele pode ter em cadeias de suprimentos sustentáveis e ambientalmente corretas. Enquanto o mundo lida com a necessidade urgente de reduzir as emissões de CO₂ e conter os efeitos dos gases de efeito estufa, as práticas de logística sustentável são mais críticas do que nunca.

O hidrogênio verde, para Kramer et al (2006), possui potencial para substituir os combustíveis fósseis como fonte primária de energia em vários setores; sobretudo, para o setor de logística, prometendo uma forma mais limpa e eficiente de transportar bens e serviços. Através deste artigo, examinaremos as vantagens competitivas decorrentes da adoção de práticas logísticas sustentáveis e ecologicamente corretas, sustentadas pelo Hidrogênio Verde. Ao reduzir as emissões de carbono e mitigar os efeitos das mudanças climáticas, os esforços pioneiros do Uruguai neste domínio têm o potencial de dar um exemplo transformador para as nações em todo o mundo.

Em sua essência, este artigo procura ressaltar a ligação intrínseca entre desenvolvimento sustentável, preservação ambiental e prosperidade humana. Ele se esforça para mostrar como a ambiciosa incursão do Uruguai no Hidrogênio Verde não apenas aumenta sua proeza econômica, mas também garante que essa prosperidade recém-descoberta seja realizada sem comprometer as necessidades das gerações futuras. À medida que navegamos pelos intrincados desafios de um mundo em mudança, cabe a nós protegermos nosso planeta, nosso ecossistema e o bem-estar de todos os habitantes. A jornada do Uruguai no Hidrogênio Verde não é apenas um capítulo de sua história; É um testemunho do potencial ilimitado da inovação humana e um farol de esperança para um mundo mais sustentável e equitativo.

A abrangência deste estudo inclui uma análise detalhada das políticas públicas que impulsionam o desenvolvimento de energias renováveis no Uruguai, bem como os impactos potenciais do hidrogênio verde na logística nacional. A relevância deste tema reside na capacidade do hidrogênio verde de transformar a logística, tornando-a mais sustentável e contribuindo para os objetivos de descarbonização estabelecidos globalmente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A LOGÍSTICA VERDE E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O potencial do hidrogênio na Logística, destaca-se através de Kramer et al. (2006) e Reda et al. (2024, onde os autores discutem o papel no aumento da segurança energética e a redução das emissões de CO₂. Os autores sugerem que, com a Captura e armazenamento de carbono (CCS) na produção de hidrogênio, as emissões de CO₂ do transporte poderiam ser reduzidas em 85%, especialmente se os veículos com célula de combustível de hidrogênio substituíssem os veículos híbridos com motor de combustão interna.

À medida que a concorrência continua a se intensificar no mundo dos negócios, para Tuzun Rad et al. (2017), a logística verde tornou-se um imperativo para as empresas que buscam uma vantagem competitiva. Segundo eles, ao adotar e implementar essas estratégias focadas na sustentabilidade, as empresas não apenas contribuem para a preservação ambiental, mas também melhoraram a reputação de sua marca e a relação custo-benefício, posicionando-se como líderes na era do comércio eco consciente.

As pesquisas de Kumar (2015) destacam o papel vital da logística verde para alcançar os objetivos de sustentabilidade dentro das organizações. Ao integrar considerações ambientais nas práticas logísticas, as empresas podem contribuir para o tripé dos benefícios econômicos, sociais e ambientais. No entanto, mais pesquisas empíricas e estudos de caso são necessários para fundamentar essas teorias e fornecer insights acionáveis para empresas que desejam adotar práticas logísticas sustentáveis.

De acordo com a celebração do Acordo de Paris das Nações Unidas (2016) com o principal objetivo focado na mudança climática e assim alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis como meta estabelecida até o ano 2030 (Riaño, 2021) O Uruguai vem trabalhando nessa mesma linha como política de estado, já que a criação do Ministério de Ambiente (2020) o qual era inexistente até esse momento, favoreceu e fortaleceu práticas empresariais e sociais de acordo com a sustentabilidade, tendo também seu impacto na logística verde com a promulgação da: *Lei 19.655 Uso sustentável de sacolas plásticas 2019* obrigando as fabricas e importadores o uso de sacolas plásticas permitidas

pela legislação, devendo ser biodegradável para mitigar o impacto meio ambiental assim também como outras medidas importantes.

O governo uruguai manifestou o seu compromisso com a transição para uma economia de baixo carbono, promovendo o investimento em fontes de energia renováveis e o desenvolvimento dos seguintes objetivos:

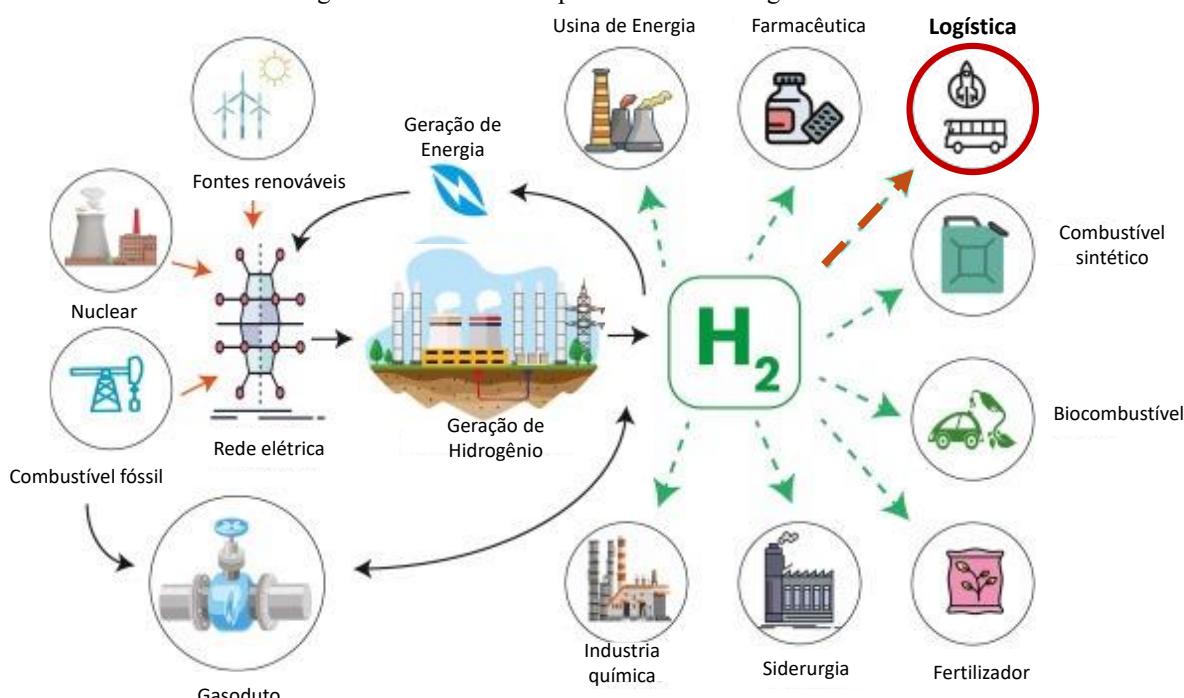
- a. Promover a utilização consciente dos recursos naturais, visando evitar o esgotamento e a degradação do meio ambiente, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e minimizar os impactos ambientais resultantes das atividades logísticas. De acordo com (Riaño-2021) onde diz que a logística verde é parte de uma filosofia organizacional na qual os fatores econômicos, sociais e ambientais têm uma grande relevância.
- b. Estabelecer práticas de produção e consumo sustentáveis (Lei 19.655), reduzindo o desperdício e otimizando o uso dos recursos disponíveis, fomentando a utilização de energias renováveis e a adoção de tecnologias limpas na logística, visando reduzir a dependência de combustíveis fósseis e diminuir a poluição ambiental. (Roteiro do Hidrogênio Verde no Uruguai-2021)
- c. Estabelecer práticas de gestão eficientes, buscando minimizar os tempos de transporte, os custos operacionais e os impactos ambientais e promovendo a capacitação e conscientização dos profissionais envolvidos na logística, visando a adoção de práticas sustentáveis, essa conscientização não deve ficar somente com os profissionais que trabalham no setor logístico se não de acordo com o discurso do Presidente do Conselho Europeu Charles Michel, (CP26 Conferência da ONU 2021) sobre a Mudança Climática onde expressou o seguinte “o ser humano declarou a guerra a natureza e nos corresponde por o fin. O planeta terra é nosso único lugar para viver, chegou o momento de atuar e de atuar juntos” essa valorização das palavras citadas anteriormente é o maior desafio que as nações terão pela frente.

Esses objetivos visam desenvolver a logística de forma sustentável, minimizando os impactos ambientais e sociais e contribuindo para a preservação do meio ambiente e para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, utilizando uma frase que acompanha o autor ao longo do tempo que a logística começa pelas pessoas e de nada serve a promoção de políticas públicas de acordo como a sustentabilidade se nós como sociedade continuamos com práticas prejudiciais para o meio ambiente.

2.2 A CADEIA DE VALOR DO H₂ VERDE

A cadeia de valor do Hidrogênio verde, é definida por Reda et al (2024), como o processo que integra a produção de hidrogênio usando fontes de energia renováveis até suas aplicações de distribuição, armazenamento e uso final. Essa cadeia de valor é essencial para alcançar a sustentabilidade e reduzir as emissões de gases de efeito estufa e inclui a produção, transporte, armazenamento e utilização de hidrogênio verde. (figura 1)

Figura 1- A cadeia de Suprimentos do Hidrogênio Verde



Fonte: Adaptação pelos autores

A figura contempla as fontes de geração e diversas aplicações, ressaltamos, em particular, a utilização na logística que é o tema do estudo.

O estudo de Donato (2022), constatou uma relação positiva entre os fatores que contribuem para a resiliência da cadeia de suprimentos e seu desempenho que resulta em benefícios significativos para os negócios, incluindo a capacidade de reagir rapidamente a desafios, superar riscos e enfrentar rupturas nas operações.

Para Donato, a Resiliência da Cadeia de Suprimentos (RSC) é um modelo logístico que demonstra sua eficácia ao lidar com o Hidrogênio Verde (H2V) através da sua capacidade de identificar e responder prontamente a vulnerabilidades e possíveis rupturas nos fluxos de produtos, garantindo sua continuidade e eficiência.

No entanto, o autor ressalta que esta pesquisa enfrentou limitações, incluindo a escassez de material acadêmico que aborde casos de cadeias de suprimentos verdes resilientes e cadeias relacionadas ao Hidrogênio Verde. Isso indica a necessidade de uma maior investigação nesses domínios para aprofundar nosso entendimento sobre esses tópicos em crescimento.

O estudo realizado por Masip et al (2021), fornece uma visão abrangente da cadeia de valor do hidrogênio verde (H₂) dentro das instalações portuárias na região de Valparaíso, no Chile. Ela engloba vários elementos, específicos do tipo de instalação; como, geração de eletricidade por meio de energia solar fotovoltaica e inversores, eletrolisadores para produção de H₂, armazenamento no local e células de combustível.

A pesquisa identificou potenciais consumidores de H₂ verde dentro da instalação portuária, como guindastes RTG, empilhadeiras, manlifts, manipuladores de contêineres, empilhadeiras de alcance de contêineres, tratores de pátio e transportadores de esteiras, muitos dos quais atualmente dependem de óleo diesel, demonstrando a atratividade da transição para H₂ verde nessas aplicações.

De acordo com (Donato 2022) o hidrogênio produzido de forma industrial é classificado, por um código de cores, conforme o processo, matéria prima e insumos utilizados:

Quadro 1 classificacao do Hidrogenio verde

Código de cores	Matéria prima	Processo	Insumo
Roxo	Água	Energia nuclear	Eletrólise
Turquesa	Gás natural	Pirólise	-
Marrom e preto	Carvão mineral	Gaseificação	-
Cinza	Fósseis	Reforma a vapor	-
Azul	Gás natural	Gaseificação	Captura de CO ₂
Musgo	Biomassas	Decomposição	-
Verde	Água	Eletrólise	Energia renovável

O hidrogênio verde, objeto de estudo deste artigo, só deve ser considerado 100% verde, se este estiver inserido em uma cadeia de suprimentos verde, sendo esta composta da etapa de suprimentos (matéria-prima), geração de energia (fontes renováveis - solar, eólica ou hidráulica) e distribuição, é fundamental que todos os membros que estão envolvidos nos processos da cadeia, trabalhem de forma mais eficiente a fim de gerar menor impacto ao meio ambiente Salmon et al (2021).

A cadeia de valor do hidrogênio verde é uma forma de integrar as energias renováveis e ajudar na transição para um sistema energético mais sustentável e de baixa emissão de carbono.

2.3 A PREPARAÇÃO DA ECONOMIA DO H₂ VERDE E SEUS DESAFIOS

Ao abordarem o assunto, Ferragut et al (2022) estabelecem os seguintes desafios:

Quadro 2- A preparação da economia

Preparação da economia	Ação requerida
Visão de longo prazo que transcenda períodos de governo.	Desenvolvimento de novas políticas como a de energia 2005-2030.
Regulamentações abrangentes (normas e padrões)	Garantia da segurança das operações relacionadas ao hidrogênio verde.
Incentivo ao investimento estrangeiro (projetos, transferência de tecnologia, etc.)	Manter regras estáveis e acesso ao financiamento favoráveis, mantendo o País, atrativo para investimentos nesse setor.
Planejamento estratégico da infraestrutura	Viabilizar a produção, transporte, armazenamento e distribuição de hidrogênio verde.
Cooperação internacional	Estimular a troca de conhecimento, no desenvolvimento de capacidades e na exploração de oportunidades de integração regional.
Governança e estratégia de comunicação	Conquistar o consenso social e obter maior aceitação do hidrogênio verde, engajando os atores e construir uma base de apoio sólida
Planejamento e execução de programas de treinamento e pesquisa e desenvolvimento (P&D),	Desenvolver capacidades locais, tanto em termos técnicos quanto de construção, incluindo engenheiros e especialistas

Fonte: Ferraguti 2020

O Hidrogênio Verde significa grandes oportunidades para o Uruguai no presente e futuro, tendo presente o avanço das energias renováveis ao redor do mundo, mas também tem muitos desafios pela frente, como a necessidade de um consenso social e político para que o projeto seja prospero e ser exemplo para outros países que se encontram transitando por esta via do caminho. (Quadro 3)

Quadro 3: Desafios e ações

Desafio	Ação curto prazo	Ação longo prazo
Desenvolvimento de infraestrutura	Construção de novas instalações de produção, como fazendas de energia renovável e eletrolisadores, bem como infraestrutura para transporte e armazenamento de hidrogênio	Engenharia detalhada de dutos, linhas de transporte e infraestrutura portuária (inexistentes atualmente pois, o Uruguai, concentra as atividades em seus terminais de carga em contêineres e grãos).
Redução de custos	Reducir os custos de produção por meio da otimização de processos e do desenvolvimento de tecnologias mais eficientes	Melhorar a eficiência dos eletrolisadores, a redução dos custos de energia renovável ou desenvolver catalisadores mais eficientes.
Produção em larga escala	Construção de instalações de produção em larga escala e a garantia de um suprimento constante de energia renovável para alimentar a produção de hidrogênio.	Desenvolver soluções para armazenar e distribuir grandes quantidades; bem como, soluções logísticas para a exportação, pois o consumo interno é muito pequeno para as quantidades de produção planejadas para o médio e longo prazo.
Aceitação pelo mercado	Investir em educar os consumidores sobre os benefícios do hidrogênio verde e demonstrar que ele é uma alternativa viável e	Criar um ambiente regulatório favorável com incentivos financeiros para promover o uso do hidrogênio verde em setores

	sustentável como outra forma de energia.	como transporte, indústria e geração de energia.
Cooperação internacional	Colaboração entre países para compartilhar conhecimentos, tecnologias e melhores práticas, bem como a coordenação de políticas e padrões internacionais	Desenvolver acordos comerciais e de transporte para facilitar o comércio de hidrogênio verde entre os países. Ex: câmaras de trabalho na Alemanha

Fonte: Os autores

A preparação da economia do hidrogênio verde requer uma cooperação internacional significativa para superação dos desafios. Pode-se ressaltar os projetos internacionais como o Conselho de Hidrogênio, com mais de 130 companhias líderes na indústria de transporte e energia que procuram aumentar as inversões. (DEAGO -DELGADO et al. (2022).

3 METODOLOGIA

Conforme Diana (2019) e Vergara (1998), trata-se de pesquisa qualitativa, explicativa, descritiva, envolvendo pesquisa bibliográfica e entrevista de campo, refletindo uma abordagem abrangente para a compreensão e análise do fenômeno em estudo. trata-se de pesquisa qualitativa, tendo em vista que tem como objetivo a compreensão de fenômenos, estudos de particularidades e experiências individuais.

4 ESTUDO DE CASO - HIDROGÊNIO VERDE NO URUGUAI

Nos últimos anos, o Uruguai tem trabalhado arduamente referindo-se ao Hidrogênio Verde impulsionado pelos objetivos traçados pela descarbonização estabelecida mundialmente e refletida no que é chamado de "roteiro do hidrogênio verde no Uruguai", sendo este um documento público que tratou do assunto em nível do governo, onde distintos ministérios deram suas contribuições técnicas com o objetivo de promover o desenvolvimento e produção de Hidrogênio Verde e seus derivados no país, já que com a mudança na matriz energética através de energias renováveis, sendo 97% da energia que é consumido no país. Sendo muito favorável o crescimento da sustentabilidade como política pública e a Logística acompanha esse desenvolvimento neste aspecto, pois contribui do ponto de vista da melhoria em seus processos, preservando a existência humana e a cooperação em respeito ao meio ambiente

O Hidrogênio Verde é fundamental para atingir as metas de descarbonização para a redução de Gases de Efeito Estufa, sendo a sua versatilidade de utilização o que favorece amplamente o seu desenvolvimento, podendo ser utilizada diretamente ou em combinação com outros elementos.

Vemos a sua aplicação no setor logístico nos transportes terrestres, marítimos, aéreos, tanto na relação com a indústria em geral e no ambiente doméstico, fortalecendo os sistemas de energias

renováveis. Estima-se que o Uruguai tenha um grande potencial para a produção de Hidrogênio Verde, especialmente no setor agroindustrial e logístico. A produção deste combustível poderá aproveitar os excedentes de energia renovável gerados na época de maior produção agrícola e pecuária, evitando assim a emissão de gases de efeito estufa.

Além disso, o Hidrogênio Verde tem aplicações em setores como transporte, geração de energia e indústria química, o que abriria a possibilidade de diversificar a matriz energética do país e reduzir sua dependência de combustíveis fósseis. No entanto, é importante ter em conta que o desenvolvimento do Hidrogênio Verde no Uruguai requer investimentos significativos em infraestrutura e tecnologia, no apoio as políticas públicas que promovam a sua adoção.

De acordo com o documento denominado “Roteiro do Hidrogênio Verde no Uruguai” o país começou a trabalhar no desenvolvimento do hidrogênio verde em 2018, a partir da formação de um grupo interinstitucional inicial formado pelo Ministério da Indústria, Energia e Mineração (MIEM) e as empresas públicas de energia ANCAP (Combustíveis) e UTE (Energia). Nesta primeira etapa, o desenvolvimento do hidrogênio verde foi entendido como um passo natural para o país, após ter sido concluída a descarbonização da matriz elétrica. Visualizam-se as oportunidades que seriam geradas a médio e longo prazo na descarbonização do setor energético (transporte rodoviário pesado, marítimo e aéreo; indústria, etc.) e das matérias-primas, o que acrescenta a vantagem de constituir um vetor energético que permite a distribuição de energia renovável entre setores e regiões. O foco desse momento foi a análise da produção de hidrogênio verde a partir de energias renováveis e a sua utilização em transportes pesados e de longa distância, no que se designou por “Projeto Verde”. Em 2020, o grupo interinstitucional do hidrogênio foi ampliado e outros ministérios e instituições estatais foram incorporados. (Roteiro do Hidrogênio Verde no Uruguai- 2021). O escopo de cada um deles é detalhado a seguir:

Quadro 4- Escopo dos grupos de trabalho

Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
<ul style="list-style-type: none"> -Oferta e procura de hidrogênio verde e derivado. -Custos de produção no Uruguai: custo nivelado da eletricidade (LCOE), custo nivelado do hidrogênio (LCOH) e custo dos derivados do hidrogênio. -Potencial mercado interno e de exportação 	<ul style="list-style-type: none"> -Facilitadores e barreiras. -Aspectos regulatórios, licenças, financiamento, acordos bilaterais, infraestrutura necessária, talento e licença social. 	<ul style="list-style-type: none"> -Proposta inicial para um roteiro para o hidrogênio verde, benefício socioeconômico, análise de risco. Após um processo de análise e intercâmbio com atores relevantes a nível nacional e internacional, conclui-se que o Uruguai tem condições muito boas para o desenvolvimento de hidrogênio verde e derivado, tanto para comercialização local como para exportação. É a partir desta conclusão que se propõe o presente roteiro para 2040.

Fonte: McKinsey & Company. (2021)

4.1 UM PAÍS QUE PROMOVE ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS

No que é identificado como a primeira etapa de sua transformação energética, o Uruguai praticamente alcançou a descarbonização da geração de eletricidade. O anterior se traduz numa participação média das energias renováveis na matriz eléctrica de 97% no período entre 2017 e 2020 (53% eólica, solar e biomassa e 44% hidroelétrica), embora o valor varie de acordo com as características climáticas de cada ano. Desta forma, o país reduziu significativamente as emissões de gases de efeito estufa procedente do setor energético. A segunda etapa da transição energética no Uruguai inclui, entre outros desafios, a descarbonização do resto do setor energético (transportes e indústria), e das matérias-primas para uso industrial, o desenvolvimento de uma economia do hidrogênio, a manutenção de alta participação das energias renováveis na matriz elétrica, e o uso mais eficiente do sistema elétrico. (Roteiro do Hidrogênio Verde no Uruguai- 2021)

4.2 POLÍTICA ENERGÉTICA E A PRIMEIRA ETAPA DA TRANSIÇÃO

Em 2008, o Uruguai apresentou sua estratégia energética, na qual é explícito seu compromisso com as energias renováveis e a eficiência energética. Esta política procura, por um lado, transcender a tradicional visão reducionista baseada na análise técnico-económica, incorporando exclusivamente na análise de dimensões geopolíticas, ambientais, sociais, éticas e culturais. Por outro lado, esta política pública promove o pensamento e o planejamento de longo prazo. Talvez o seu marco mais relevante seja o acordo alcançado em 2010 entre todos os partidos políticos com representação parlamentar, que lançou as bases para a construção de uma política de Estado no setor. Como consequência da execução desta política, o Uruguai praticamente descarbonizou sua matriz elétrica, complementando a tradicional participação da energia hidroelétrica com a incorporação de energia eólica, solar e de biomassa.

A alta penetração das energias renováveis na matriz elétrica permitiu ao Uruguai se posicionar como um player de classe mundial na transição energética. O país ocupa a 13^a posição no ranking do Índice de Transição Energética e é líder na região (Fórum Econômico Mundial, 2021). Em linha com a sua política sustentável, o Uruguai propôs uma Estratégia Climática de Longo Prazo até 2050 (Ministério de Ambiente Uruguai, 2021), na qual o hidrogénio verde e seus derivados são utilizados para o transporte de carga pesada e passageiros de longa distância, assim como para alguns usos industriais. Consequentemente, tanto para consumo interno como para exportação, o hidrogénio verde desempenhará um papel importante para o país no curto e longo prazo.

4.3 POLÍTICAS DE SUSTENTABILIDADE

O Uruguai possui um pacote amplo e robusto de políticas públicas para o desenvolvimento sustentável, que abrange ações para o clima, energia, produção agrícola e resídua. Historicamente, e independentemente dos diferentes governos, o trabalho tem sido promovido de forma transversal, articulando-se entre os ministérios da produção e do ambiente, entendendo que a sustentabilidade só pode ser desenvolvida de forma integrada e coerente com as outras dimensões do desenvolvimento, incluindo a social. Exemplos disso são as políticas energéticas, as alterações climáticas e florestais, entre outros.

Dando continuidade à relevância dos temas ambientais da política Estatal, em 2020 foi criado o Ministério do Meio Ambiente, para agregar às ações que priorizam as questões de sustentabilidade na agenda e dar-lhes maior força institucional. O Uruguai vem trabalhando transversalmente ao nível de todos os ministérios, entidades autónomas e serviços descentralizados, assumiu a responsabilidade de orientar as suas políticas públicas em torno do cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a fim de avançar em cada um deles até o ano 2030.

Desde 2017, o Uruguai apresenta relatórios voluntários e concluiu o monitoramento da situação do país em cada um dos 17 ODS (Presidência da República, 2021). A promoção do Hidrogénio verde permitirá acelerar o progresso nos ODS 7 (Energia limpa e acessível), 9 (Indústria, Inovação e Infraestruturas), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 13 (Ação Climática), e contribuirá indiretamente para outros objetivos.

4.4 VANTAGENS COMPETITIVAS PARA DESENVOLVER HIDROGÊNIO VERDE E DERIVADO

As principais vantagens competitivas que o Uruguai apresenta para ser um relevante produtor de hidrogênio verde e derivados são descritas a seguir, tanto para o mercado local quanto para a exportação.

4.4.1 potencial e complementaridade das energias renováveis.

O Uruguai tem um grande potencial para instalar novas capacidades de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis, principalmente eólica e solar fotovoltaica. O país possui um recurso combinado eólico e solar muito bom, tanto pela sua complementaridade diária como sazonal; isto permite obter elevados fatores de capacidade no eletrolisador e baixos custos de produção de hidrogênio.

Segundo os estudos realizados, as características da energia renovável solar e eólica no Uruguai permitiriam atingir, em 2030, custos nivelados de energia (LCOE), com valores que se situariam na faixa entre 16 e 19 USD/MWh. Por sua vez, a energia eólica offshore apresentaria custos na faixa entre 26 e 28 USD/MWh. Impulsionada pelas reduções de CAPEX e pelas melhorias tecnológicas, a tendência de diminuição dos custos continuaria ao longo do tempo (embora moderando a sua queda), e permitiria atingir custos de até 2040 de 11 USD/MWh para a utilização de recursos solares através de tecnologia fotovoltaica, USD 15/MWh para energia eólica e USD 21/MWh para energia eólica offshore.

Nos estudos realizados são identificadas regiões do território nacional com diferentes potenciais de geração de energias renováveis. (Roteiro do Hidrogênio Verde no Uruguai, 2021)

4.4.2 matriz elétrica com 97% de participação renovável

Para processos industriais que precisam operar continuamente (por exemplo, a produção de e-Jet Fuel), a conexão à rede elétrica nacional, com 97% renovável, como mencionado anteriormente, positivamente impacta a rentabilidade dos investimentos necessários à produção de hidrogênio verde e derivados (usinas eólicas e solares fotovoltaicas complementadas com acumulação de hidrogênio). Para estes casos, a vantagem de uma ligação à rede poderia traduzir-se numa diminuição do custo do hidrogênio entre 5 e 10% face a um investimento exclusivamente em instalações eólicas e solares fotovoltaicas desligadas da rede e com acumulação de hidrogênio. (Roteiro do Hidrogênio Verde no Uruguai, 2021)

4.4.3 alta disponibilidade de água

O Uruguai tem acesso ao Oceano Atlântico e a muitos rios, alguns deles com bacias que cobrem áreas importantes de países da região. Dentre os rios com bacias em outros países, destacam-se:

- a) O Rio Negro, com uma bacia de aproximadamente 40% da área do Uruguai (70 714 km²; a bacia abrange áreas do Brasil e do Uruguai). O Rio Negro deságua no Rio Uruguai.
- b) O rio Uruguai, com bacia duas vezes maior que a área do Uruguai (339.000 km²; abrange áreas da Argentina, Brasil e Uruguai). Deságua no Rio da Prata.
- c) O Rio da Prata, com uma bacia 17 vezes maior que a área do Uruguai (3 100 000 km²; abrange áreas da Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai). (Roteiro do Hidrogênio Verde no Uruguai, 2021)

4.4.4 análise nacional

Por sua vez, o país apresenta um regime pluviométrico e de disponibilidade hídrica muito importante, com precipitação média anual de 1320 milímetros. Tudo isto torna a existência de água doce muito abundante e adequada à produção de hidrogênio verde.

Mas este ano tivemos um défice hídrico significativo que teve um impacto negativo, especialmente na Zona Sul do país, declarando uma Emergência Hídrica no país.

A produção estimada de hidrogênio para 2040, neste roteiro, é de um milhão de toneladas para diversos usos e derivados. Isto implicaria um consumo de 10 milhões de m³ de água por ano, tendo em conta que para produzir um kg de hidrogênio são necessários entre 9 e 10 litros de água. Portanto, a produção de hidrogênio até 2040 exigiria um volume de água muito baixo, se comparado com os atuais usos de água nos sectores agrícola e industrial do país.

4.4.5 disponibilidade de co2 biogênico

Para a produção de combustíveis sintéticos, como e-metanol ou e-Jet Fuel obtido a partir de H₂ e CO₂, o país dispõe de CO₂ biogênico, associado a instalações industriais que explorem biomassa proveniente de produção sustentável, nas proximidades de áreas de boa disponibilidade de recursos renováveis. O Uruguai está muito bem posicionado em termos de certificações de desenvolvimento sustentável na sua produção florestal: atinge 80% nas plantações florestais e 100% no nível dos produtos que possuem processamento industrial neste setor (Sociedade de Produtores Florestais do Uruguai, 2022). Baseada, entre outros aspectos, no desenvolvimento alcançado pelo sector florestal, e em particular pela indústria associada a esta cadeia produtiva, a bioenergia tornou-se desde 2016 a

principal fonte de energia a nível nacional. Desta forma, deslocou o petróleo e seus derivados, fonte que tradicionalmente ocupava esse lugar, para uma segunda posição (Ministério da Indústria, Energia e Mineração Uruguai, 2021).

4.4.6 logística

O Uruguai tem acesso ao Oceano Atlântico, que permite a exportação de hidrogênio e derivados para a Europa e os Estados Unidos com distâncias marítimas menores do que outros países com potencial exportador. Desta forma, são alcançados custos de transporte reduzidos. O porto de Montevidéu apresenta uma oportunidade de desenvolvimento para a exportação de derivados de hidrogênio.

O país não apresenta grandes acidentes geográficos e dispõe de vias de acesso a todo o território e infraestruturas para o transporte local de hidrogênio e seus derivados. É importante destacar que a Ferrovia Central permitirá conectar a área de maior potencial de energia renovável com o Porto de Montevidéu, proporcionando ótimas oportunidades para o transporte de derivados de hidrogênio e facilitando suas possibilidades de exportação. Da mesma forma, o país dispõe de transportes fluviais e rodoviários que podem ajudar a melhorar a competitividade na transferência de produtos de exportação. Como pano de fundo, no setor energético pode-se mencionar que na última década o Uruguai enfrentou e superaram múltiplos desafios logísticos associados à construção de infraestrutura de geração, plantas industriais de grande escala e obras de transmissão, entre outros. A título de indicador, indica-se que em 2014, 60% das cargas especiais (sejam por tamanho ou por peso) transportadas no país correspondeu a projetos de energias renováveis. (Roteiro do Hidrogênio Verde no Uruguai, 2021)

4.5 POR QUE HIDROGÊNIO VERDE?

O hidrogênio é um dos recursos mais abundantes do planeta e é regularmente utilizado em diferentes processos industriais. É um vetor capaz de armazenar e transportar energia, podendo ser utilizado diretamente ou para a produção de insumos energéticos.

Então qual era a novidade? Num cenário de descarbonização global até 2050 e nos setores com maior dificuldade em reduzir as emissões, as energias renováveis (Solar e Eólica, que estão em processo de redução de custos, e a água permitem-nos produzir insumos de energia verde com o mínimo impacto ambiental). É por isso que a União Europeia, os Estados Unidos, o Reino Unido, o Japão (entre outros) elegeram o hidrogênio como um dos principais vetores que permitirão descarbonizar os setores da economia com maior dificuldade em reduzir a sua pegada climática.

O hidrogênio permite a eletrificação do transporte terrestre de carga de longa distância, mas também sua aplicação através de processos químicos conhecidos permite a produção de combustíveis verdes como metanol de fontes renováveis, amoníaco, querosene verde, diesel sintético. São esses combustíveis e produtos químicos verdes que permitem descarbonizar os transportes marítimos e aéreos, os fertilizantes e a produção de aço e cimento, entre outros.

O processo para alcançar a transição energética está ganhando força no mundo, por meio de estratégias como a eletro mobilidade (Um caminho que o Uruguai já começou) e o hidrogênio verde. Fundos significativos foram comprometidos com o desenvolvimento de uma economia de hidrogênio e é um item estratégico na agenda dos principais países e empresas globais. A geopolítica energética está iniciando um processo de transição para uma maior diversificação em que países que historicamente não tiveram recursos energéticos relevantes se posicionam como novos jogadores com diversas funções e possibilidades.

O Uruguai enfrenta uma oportunidade única de expandir a produção de energia e a fronteira de exportação do país. A primeira transição energética nos mostrou a produção de potencial de renováveis e fortaleceu nossa credibilidade como país que recebe grandes investimentos. Procurando passar do sol e do vento para o hidrogênio, que permitirá produzir combustíveis sintéticos exportáveis.

4.6 IMPACTO NA LOGÍSTICA

O hidrogênio verde está a emergir como uma das energias mais promissoras na luta contra as alterações climáticas e o seu impacto na logística poderá ser significativo. Aqui estão alguns aspectos que poderão ser afetados:

4.6.1 transporte de mercadorias

Como já sabemos que o transporte terrestre é um dos principais emissores de gases de efeito estufa no mundo, gerando aproximadamente 830 milhões de toneladas de CO₂ ao ano na atmosfera (Segundo a, Agencia Internacional de Energia) por esta razão que se procura mitigar essa contaminação e esse impacto contaminante, sendo o Hidrogênio Verde uma das principais opções de acordo com nosso trabalho no presente artigo, já que seu uso como combustível no transporte de mercadorias emitiria somente vapor de água e não deixaria resíduo contaminante no ar, contribuindo para uma logística mais sustentável, o que reduziria significativamente as emissões de carbono associadas ao transporte de mercadorias.

Além das vantagens para o Transporte de cargas e os cuidados com o Meio Ambiente, devemos indicar que existem algumas dificuldades já que a produção do combustível de Hidrogênio Verde tem

um custo que impactara no preço final do produto e a outra desvantagem é que os estudos de desenvolvimento e tecnologia para tal produção são lentos e carecem de investimentos.

4.6.2 armazenamento e distribuição de energia

O hidrogênio verde também pode servir como forma de armazenar energia renovável. Dado que a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis pode ser intermitente, o excesso de energia pode ser utilizado para produzir hidrogênio verde através da eletrólise da água. Este hidrogênio pode ser armazenado e utilizado em momentos em que a procura de energia excede a oferta. Isto proporcionaria uma solução para enfrentar os desafios da variabilidade da produção de energia renovável e garantir um fornecimento constante de energia.

4.6.3 geração de energia a bordo de navios e aviões

A utilização do hidrogênio verde também poderá ter impacto nos transportes marítimos e aéreos. No momento navios e aviões usam combustíveis fósseis altamente poluentes. A utilização do hidrogênio verde como combustível alternativo nestes setores reduziria significativamente as emissões de carbono e contribuiria para uma logística mais sustentável.

4.6.4 infraestrutura de abastecimento de combustível

Para aproveitar ao máximo o hidrogênio verde na logística, seria necessária a construção de uma infraestrutura de abastecimento adequada. Isto implica a criação de estações de carregamento de hidrogênio, bem como a integração de sistemas de armazenamento e distribuição de hidrogênio. Implicaria um esforço conjunto da indústria, dos governos e dos reguladores para criar esta infraestrutura e garantir a sua disponibilidade em todo o mundo o que vai favorecer tanto no aumento de mão de obra no setor industrial e o desenvolvimento social e econômico na geração de empregos diretos.

4.7 OPINIÃO DE ENVOLVIDOS NO PROJETO

Para este artigo o autor entrevistou o Engenheiro Fernando Schaich- fundador SEG Ingenieria- Vice-Presidente da Câmara de Comércio e Indústria do Uruguai- CEO da SEG Greenpower, empresa do grupo SEG INGENIERIA dedicada ao desenvolvimento de projetos de energia renovável em grande escala e de hidrogênio verde.

Sendo escolhido por tratar-se de ser integrante direto de um dos projetos mais importe no Uruguai, a entrevista teve dois temas para tratar:

Tema 1: Qual é a situação atual do Hidrogênio Verde no Uruguai? "Aponta o seguinte." Hoje dois grandes projetos estão em andamento, o de Paysandu" Departamento situado no noroeste do Uruguai limitando ao norte com Salto e ao este com Tacuarembo e ao oeste com o Rio Uruguay que o separa da República Argentina tem uma superfície de 13.922 quilômetros quadrados," onde a empresa chilena HIF GLOBAL destinará US\$ 4 bilhões para produção de Hidrogênio Verde e combustíveis eletrônicos e o Tambor Hub de Hidrogênio Verde em Tacuarembo" Departamento situado no centro norte do Uruguai limitando ao norte com Rivera ao sul com o Rio Negro e ao oeste com Salto e Paysandu tem uma superfície de 15.438 quilômetros quadrados , onde a empresa alemã Enertrag com o suporte técnico local da Greenpower (parte do grupo SEG Ingenieria) terá sua primeira usina de Hidrogênio Verde com capacidade de produzir 15.000 toneladas de hidrogênio verde por ano...eles também estão trabalhando em um projeto menor como o H24U que foi concedido à empresa Saceem - CIR com a participação da empresa Air Liquid, suporte técnico do grupo SEG Ingenieria, com investimento inicial de US\$ 43 milhões, sendo o primeiro piloto de produção de hidrogênio verde no país, a ser lançado em caminhões para transporte florestal..."

Tema 2 : Qual é o impacto na Logística do Uruguai? A seguir ressalto que vejo isso como muito favorável para o Uruguai, sendo esta uma nova oportunidade de desenvolvimento para o país, já que estão previstas novas fábricas que exigirá mão de obra também terá impacto no desenvolvimento socioeconômico e, o mais importante, no seu impacto no meio ambiente, vejo a infraestrutura portuária (Porto de Montevidéu) como um desafio, especialmente no que se refere ao armazenamento de derivados de Hidrogênio Verde, considerando se está em conformidade com o Roteiro Hidrogênio Verde no Uruguai onde são projetadas as melhorias necessárias... "Conclui que" a produção de Hidrogênio Verde não tem um alto consumo de água conforme os números mencionados na opinião pública "contextualizam que..." para a produção de Hidrogênio Verde o consumo de água é infinitamente menor que o agrícola e exploração pecuária..." esclarece ainda que o projeto Tambor Hub de Hidrogênio Verde consumirá sete vezes menos água que as 1¹"Termas do Arapay."

5 RESULTADOS

Neste artigo comprovou-se que o hidrogênio verde possui um potencial significativo para impactar a logística de maneira positiva. Desde a redução das emissões de carbono no transporte de mercadorias até o fornecimento de uma solução viável para o armazenamento de energias renováveis,

¹Termas do Arapay :Sítio turístico de fontes termais com temperatura média de 39°C do Aquífero Guarani, localizado em Salto desde o início da década de 40, que recebe anualmente cerca de 150 mil turistas

a sua adoção pode transformar a logística em um setor mais sustentável e alinhado com as metas globais de combate às mudanças climáticas. Contudo, a implantação em larga escala do hidrogênio verde na logística demanda um esforço coordenado entre a indústria e governos para garantir que a transição resulte em um produto que seja verdadeira e ambientalmente amigável.

Um elemento estratégico que fortalece essa iniciativa é a Lei nº 16.246, conhecida como a “Lei de Portos”. Esta legislação estabelece um regime de Porto Livre no Uruguai, criando um ambiente altamente competitivo para o trânsito de mercadorias. Conforme descrito no artigo 2º da lei, “a circulação de mercadorias no Porto de Montevidéu será gratuita, sem necessidade de autorizações ou procedimentos formais”. Isso permite uma série de atividades logísticas, como depósito, reembalagem e movimentação de mercadorias, sem restrições quanto ao destino delas. Essa flexibilidade torna o Porto de Montevidéu um atrativo logístico crucial para o comércio internacional e para a inserção do hidrogênio verde nas cadeias de suprimento globais.

Atualmente, o Uruguai conta com três grandes projetos de produção de hidrogênio verde em andamento. O primeiro é o projeto H24U, que, por meio de um plano piloto, foi desenvolvido com o apoio do Fundo Setorial de Hidrogênio Verde da Agência Nacional de Inovação e Pesquisa, com um investimento de US\$ 43 milhões. O projeto abrange 17 caminhões de carga pesada adaptados para operar com hidrogênio verde, transportando cargas florestais para a UPM, uma das maiores plantas de celulose do país, localizada no centro do território nacional (Pueblo Centenario, Durazno).

Um elemento estratégico que fortalece essa iniciativa, é a Lei nº 16.246, conhecida como a “Lei de Portos”. Esta legislação estabelece um regime de Porto Livre no Uruguai, criando um ambiente altamente competitivo para o trânsito de mercadorias. Conforme descrito no artigo 2º da lei, “a circulação de mercadorias no Porto de Montevidéu será gratuita, sem necessidade de autorizações ou procedimentos formais”. Isso permite uma série de atividades logísticas, como depósito, reembalagem e movimentação de mercadorias, sem restrições quanto ao destino das mesmas. Essa flexibilidade torna o Porto de Montevidéu um atrativo logístico crucial para o comércio internacional e para a inserção do hidrogênio verde nas cadeias de suprimento globais.

Atualmente, o Uruguai conta com três grandes projetos de produção de hidrogênio verde em andamento. O primeiro é o projeto H24U, que, por meio de um plano piloto, foi desenvolvido com o apoio do Fundo Setorial de Hidrogênio Verde da Agência Nacional de Inovação e Pesquisa, com um investimento de US\$ 43 milhões. O projeto abrange 17 caminhões de carga pesada adaptados para operar com hidrogênio verde, transportando cargas florestais para a UPM, uma das maiores plantas de celulose do país, localizada no centro do território nacional (Pueblo Centenario, Durazno).

O segundo projeto em desenvolvimento é o Tambor Green Hydrogen Hub, com um investimento de US\$ 628 milhões da empresa alemã Enertrag, em parceria com a empresa uruguaia SEG-Ingeniería. Esse projeto, localizado em Tambores, Tacuarembó, é o primeiro grande empreendimento de exploração de hidrogênio verde no país, com a produção de metanol a partir do hidrogênio verde gerado em plantas eólicas e fotovoltaicas. O objetivo é produzir até 15 mil toneladas de metanol por ano.

O terceiro e mais recente projeto é liderado pela empresa chilena HIF Global, que construirá uma planta de hidrogênio verde e combustíveis eletrônicos em Paysandú. Com um investimento de US\$ 4 bilhões, o maior investimento estrangeiro no Uruguai, essa planta permitirá a descarbonização de até 150 mil veículos por ano, tornando-se um marco na transformação energética do país.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS FAZER UMA ESTRUTURA QUE APRESENTE O OBJETIVO GERAL, UM PARÁGRAFO DE CADA OBJETIVO ESPECÍFICO PROPOSTO, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Este artigo teve como objetivo avaliar os impactos do projeto Uruguai de hidrogênio verde na Logística Nacional, com foco nos desafios socioeconômicos e de infraestrutura relacionados à produção, armazenamento, distribuição e exportação desse combustível.

Verificou-se que o hidrogênio verde pode substituir combustíveis fósseis em vários setores da logística, como transporte rodoviário, marítimo e aéreo, resultando em uma redução significativa das emissões de carbono e contribuindo para os objetivos de descarbonização estabelecidos globalmente. Observou-se que o projeto exigirá o desenvolvimento e a adoção de novas tecnologias, como células de combustível e sistemas de armazenamento de hidrogênio que pode impulsionar a inovação tecnológica no setor, criando oportunidades de emprego e desenvolvimento econômico.

Observaram-se os desafios socioeconômicos que incluem, os altos custos iniciais da transição para o hidrogênio verde, pois, exigem investimentos significativos em infraestrutura e tecnologia. A adoção de novas tecnologias exigirá a capacitação e o treinamento de trabalhadores. Isso pode ser um desafio, especialmente em áreas onde a mão de obra qualificada é escassa. Programas de treinamento e educação serão essenciais para garantir uma transição suave. Todos esses gastos, podem representar um desafio para pequenas e médias empresas, que podem não ter os recursos financeiros necessários. Observou-se, ainda, que a aceitação social da nova tecnologia pode ser um desafio por conta das preocupações com a segurança da utilização do hidrogênio verde. Portanto, campanhas de conscientização e engajamento comunitário serão necessárias para garantir o apoio público. A logística

mais sustentável pode melhorar a imagem corporativa das empresas e atender às demandas dos consumidores por práticas mais ecológicas.

Ao analisar os desafios internos tanto em relação ao setor empresarial, a infraestrutura e em relação a sociedade,

Com relação ao objetivo específico de determinar com os envolvidos nos projetos as vantagens e desvantagens do desenvolvimento dos projetos do hidrogênio verde no Uruguai, observou-se que

- I. O Uruguai tem um grande potencial para instalar novas capacidades de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis, principalmente eólica e solar fotovoltaica. O país possui um recurso combinado eólico e solar muito bom, tanto pela sua complementaridade diária como sazonal; isto permite obter elevados fatores de capacidade no eletrolisador e baixos custos de produção de hidrogênio
- II. Para processos industriais que precisam operar continuamente (por exemplo, a produção de e-Jet Fuel), a conexão à rede elétrica nacional, com 97% renovável, como mencionado anteriormente, positivamente impacta a rentabilidade dos investimentos necessários à produção de hidrogênio verde.
- III. Alta disponibilidade de água, o Uruguai possui acesso ao Oceano Atlântico e a muitos rios, alguns deles com bacias que cobrem áreas importantes de países da região.
- IV. O Uruguai tem acesso ao Oceano Atlântico, que permite a exportação de hidrogênio e derivados para a Europa e os Estados Unidos com distâncias marítimas menores do que outros países com potencial exportador. Desta forma, são alcançados custos de transporte reduzidos. O porto de Montevidéu apresenta uma oportunidade de desenvolvimento para a exportação de derivados de hidrogênio.

Com relação à importância do Governo com políticas de compromissos sustentáveis fixado no Roteiro do Hidrogênio verde no Uruguai, viu-se que as políticas de compromisso sustentável estabelecidas no *Roteiro do Hidrogênio Verde* são essenciais para alinhar as ações governamentais com os objetivos climáticos, econômicos e sociais. Elas fornecem o suporte necessário para que o Uruguai não apenas adote o hidrogênio verde como uma nova fonte de energia, mas também posicione o país como um líder global em sustentabilidade energética.

Além dos benefícios logísticos e ambientais, este artigo também discutiu os desafios para o desenvolvimento de uma logística sustentável baseada no hidrogênio verde. Embora o Uruguai já tenha uma matriz energética altamente sustentável, com 97% de sua energia proveniente de fontes renováveis, ainda há a necessidade de desenvolver mão de obra especializada e expandir o conhecimento acadêmico nessa área. O desenvolvimento da segunda transformação energética,

impulsionada pela adoção do hidrogênio verde, é visto com otimismo tanto pelo setor empresarial quanto pelo governo uruguai.

Como recomendação para futuros trabalhos, sugere-se que este artigo seja expandido em uma dissertação de mestrado, aprofundando as questões energéticas e logísticas relacionadas ao hidrogênio verde, com ênfase no desenvolvimento sustentável e na competitividade logística do Uruguai.

REFERÊNCIAS

- Airbus. (2022). ZERO e rumo à primeira aeronave comercial com emissão zero do mundo. <http://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe>
- Almeida, A. S. de, Souza, J. G. de, Madeiro, L. C. Neto, Costa, M. L. A. da, Cunha, A. L., Rodrigues, M. A., & Santos, A. F. dos. (2019). Hidrogênio, o combustível do futuro. *Diversitas Journal*, 4(2), 356–366. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v4i2.593>
- Banco Interamericano de Desenvolvimento. (2021). Hidrogênio verde: Um passo natural para o Uruguai rumo à descarbonização. Montevidéu.
- Banco Mundial. (2020). Potencial técnico eólico offshore no Uruguai. Washington.
- Boeing. (2022). Boeing compra dois milhões de galões de combustível de aviação sustentável para suas operações comerciais. <https://boeing.mediaroom.com/2022-02-07-Boeing-Buys-Two-Million-Gallons-of-SustainableAviation-Fuel-for-its-Commercial-Operations>
- Bouzas, B., Teliz, E., & Díaz, V. (2024). Green hydrogen production in Uruguay: A techno-economic approach. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 22(7), 783–795. <https://doi.org/10.1515/ijcre-2024-0066>
- Casa da Liberdade. (2022). Expansão da liberdade e da democracia. <https://freedomhouse.org>
- Castro, N. de, Leal, L. M., Freitas, J. V., & Oliveira, L. (2022). Desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde na América Latina e no Brasil. Grupo de Estudos do Setor Elétrico, UFRJ.
- Comissão Europeia - Ação Climática. (2022). Lei Europeia do Clima. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en
- Conselho Mundial de Energia. (2021). As importações de hidrogênio descarbonizado para os desafios e oportunidades da União Europeia. Evento virtual.
- Deago Delgado, H. J., Santos Matías, J. H., & Barriá Wes, N. R. (2022). Investment opportunities that can be generated by the production and distribution of green hydrogen for Panama. Easy Chair Preprint.
- Diana, J. (2019). Pesquisa quantitativa e pesquisa qualitativa. <https://www.diferenca.com/pesquisa-quantitativa-e-pesquisa-qualitativa/>
- Donato, V., Vieira, C. S., Andrade, M. S., Albuquerque, R. V., & Santos, C. C. R. (2022). Resiliência da cadeia de suprimentos do hidrogênio verde. *Revista Foco*, 16(1). https://doi.org/10.54751/revista_foco.v16n1-10
- Ferragut, P., Goldenberg, F., Correa, C., & Gischler, C. (2022). Hidrógeno verde y el potencial para Uruguay: Insumos para la elaboración de la hoja de ruta de hidrógeno verde de Uruguay. BID. Elaborados por McKinsey & Company.

Fórum Econômico Mundial. (2021). Fomentando uma transição energética eficaz. <https://www.weforum.org/>

H2LAC. (2022). <https://h2lac.org/noticias/tambor-green-hydrogen-hub-el-nuevo-proyecto-uruguayo-de-hidrogeno-verde/>

Informe CEPAL. (2022). <https://www.uruguayxxi.gub.uy>

IPCC. (2018). Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Kramer, G. J., Huijsmans, J., & Austgen, D. (2007). Pathways to clean and green hydrogen. In J. Wind & F. Batzias (Eds.), Hydrogen as a Future Energy Carrier (Chap. 15). Wiley-VCH Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1002/9783527621118.ch15>

Kumar, A. (2015). Green logistics for sustainable development: An analytical review. IOSRD International Journal of Business, 1(1), 7–13. <https://www.researchgate.net/publication/330422673>

Lei 16246. (1992). Lei de portos. Poder Executivo do Uruguai.

Lei 19655. (2019). Uso sustentável de sacolas plásticas. Poder Executivo do Uruguai.

Masip Macía, Y., Rodríguez Machuca, P., Rodríguez Soto, A. A., & Carmona Campos, R. (2021).

Green hydrogen value chain in the sustainability for port operations: Case study in the region of Valparaiso, Chile. Sustainability, 13(24), 13681. <https://doi.org/10.3390/su132413681>

McKinsey & Company. (2021). Materiais para o Roteiro do Hidrogênio Verde no Uruguai (H2U). Montevidéu.

Petróleo Britânico. (2022). BP define ambição para emissões líquidas zero até 2050. <http://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-lançamentos/bernardlooney-announces-new-ambition-for-bp.html>

Presidência da República, Uruguai. (2021). Objetivo de desenvolvimento sustentável e relatório nacional voluntário. Montevidéu.

Projeto de Justiça Mundial (WJP). (2021). Regra de Law Index relatório de 2021. Washington.

Reda, B., Elzamar, A. A., Alfazzani, S., & Ezzat, S. M. (2024). Green hydrogen as a source of renewable energy: A step towards sustainability, an overview. Environment, Development and Sustainability, 1(3), 1–3. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04892-z>

Redução das emissões de carbono. (2022). <https://www.gmsustainability.com/priorities/reduce-carbon-emissions>

Renováveis-REN. (2021). Relatório de situação global das renováveis. 2021.

Riaño Solano, M., Navarro Márquez, S. Y., & Restrepo Osorio, M. T. (2021). Benefícios da logística verde no comércio e nos negócios internacionais. *Revista de Logística e Negócios Internacionais*, 6(1), 49–69. <https://doi.org/10.22463/2711121.3333>

Roteiro do Hidrogênio Verde no Uruguai (H2U). (2021-2022). Ministério de Indústria, Energia e Mineração do Uruguai.

Salmon, N., Bañares-Alcántara, R., & Nayak-Luke, R. M. (2021). Optimization of green ammonia distribution systems for intercontinental energy transport. *iScience*, 24. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:237139975>

Schaich, F. (2023). Entrevista escrita com o autor. Montevidéu.

Shell. (2020). Nossos objetivos climáticos. <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/our-goals.html>

Sociedade de Produtores Florestais do Uruguai. (2022). O Uruguai tem 200% de sua produção florestal sustentável. <https://www.spf.com.uy/category/pec>

The Economist Intelligence Unit. (2021). Índice de democracia. Londres.

Transparência Internacional. (2022). Dados do país. <https://www.transparency.org>

Tüzün Rad, S., & Gülmез, Y. S. (2017). Green logistics for sustainability. *International Journal of Management Economics and Business*, 13(3). <https://doi.org/10.17130/ijmeb.2017331327>

Vergara, S. C. (2010). Projetos e relatórios de pesquisa em administração (2. ed.). São Paulo: Atlas.