

Hidrogênio Verde: Critérios-chave de sucesso para o comércio e produção sustentáveis

UMA SÍNTESE BASEADA EM CONSULTAS
NA ÁFRICA E NA AMÉRICA LATINA





Hidrogênio Verde: Critérios-chave de sucesso para o comércio e produção sustentáveis

UMA SÍNTESE BASEADA EM CONSULTAS NA ÁFRICA E NA AMÉRICA LATINA

Autora: Delia Villagrasa

Tradução: Paterson Franco Costa

Revisão em português: Helena Costa e Marcelo Montenegro

Agradecimentos: este estudo é resultado de um projeto conjunto sobre hidrogênio verde entre a Brot für die Welt (Pão para o Mundo) e a Heinrich-Böll-Stiftung. Agradecemos à autora, Delia Villagrasa, por seu trabalho árduo e comprometimento com o processo. Além disso, as organizações agradecem especialmente a todos os parceiros da América Latina e África que participaram do processo de consulta e contribuíram para o debate, bem como para o desenvolvimento deste relatório. Por fim, um agradecimento especial aos membros da equipe, Sarah Ribbert (Heinrich-Böll-Stiftung) e Lea Truttenbach (Brot für die Welt), por seu apoio ao processo geral de coordenação.

Contatos: Jaime Fernández Medina: jaime.fernandez@brot-fuer-die-welt.de e Jörg Haas: haas@boell.de.

Consulte o dossiê principal com todas as publicações e atividades sobre hidrogênio da Fundação Heinrich Böll e Brot für die Welt:

<https://www.boell.de/en/greenhydrogen>

<https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>

**Brot
für die Welt**

HEINRICH
BÖLL
STIFTUNG

Brot für die Welt

www.brot-fuer-die-welt.de/en

Brot für die Welt (Pão para o Mundo) é a agência de desenvolvimento e assistência das Igrejas Protestantes na Alemanha. Em mais de 90 países em todo o mundo, capacitamos comunidades pobres e marginalizadas para melhorar suas condições de vida. As questões-chave do nosso trabalho são a segurança alimentar, a promoção da saúde e da educação, o acesso à água, o fortalecimento da democracia, o respeito aos direitos humanos, a manutenção da paz e a integridade da criação. A Brot für die Welt toma medidas para garantir que haja comida suficiente para todos. Porque o combate à fome se torna cada vez mais importante em tempos de mudanças climáticas e recursos cada vez mais escassos.

Fundação Heinrich Böll

br.boell.org/pt-br

A Fundação Heinrich Böll é uma organização política alemã, presente em mais de 30 países e ligada ao Partido Verde da Alemanha. Um partido que nasceu nos anos 70 com a união de membros dos movimentos sociais que defendiam causas ambientais, de mulheres e LGBTQIA+. Promover diálogos pela democracia e buscar a garantia dos direitos humanos; atuar em defesa da justiça socioambiental; defender os direitos das mulheres e se posicionar como antirracista são os valores que impulsionam as ideias e ações da Fundação. No Brasil, a organização apoia projetos de diversas organizações da sociedade civil, organiza debates e produz publicações gratuitas. Como disse Heinrich Böll, que inspirou o nome da Fundação, “envolver-se é a única forma de enfrentar a realidade.”.

Publicação em português: junho de 2023.

Imagens da capa: © AJP, Moliibdenis. Designer: contact@onehemisphere.se

Aviso de condições e responsabilidade: Os autores foram extremamente cuidadosos na tentativa de garantir que o material aqui apresentado seja preciso e fiel às fontes. Ressaltam, entretanto, que não podem ser responsabilizados por quaisquer perdas que possam ter ocorrido, esperadas e inevitáveis em um processo de redação realizado em diferentes etapas, idiomas, países e momentos, sempre fruto de discussões coletivas. CC-BY-NC-ND 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>



Índice

Prefácio de Imme Scholz, Diretora da Fundação Heinrich Böll, e Dagmar Pruin, Presidente da Brot für die Welt (Pão para o Mundo)	4
Lista de abreviaturas	5
Resumo executivo	6
1. Introdução	8
Box 1: Uma perspectiva de justiça climática no desenvolvimento do hidrogênio verde	11
2. Resumo do processo	14
Box 2: Por que precisamos de hidrogênio verde?	17
3. Por que precisamos de critérios e políticas socioecológicas fortes para investimento e comércio de hidrogênio verde	18
3.1 Principais oportunidades	20
3.2 Principais preocupações	20
Box 3: Riscos de vazamento e outros riscos potenciais relacionados ao hidrogênio verde	21
3.3 A necessidade de políticas e critérios socioecológicos	23
4. Principais recomendações	24
4.1 Recomendações ambientais específicas	26
4.2 Recomendações sociais específicas	28
Box 4: Adicionalidade	28
4.3 Políticas e padrões nacionais	29
4.4 Políticas bilaterais	30
4.5 Plurilateral: uma iniciativa plurilateral poderia ajudar a promover o comércio de hidrogênio verde e sustentável?	32
4.5 Multilateral: Novas iniciativas e instituições para o comércio global de hidrogênio verde	32
5. Anexos	34
5.1 Resumos dos países	36
5.1.1 Argentina	36
5.1.2 Brasil	37
5.1.3 Chile	38
5.1.4 Colômbia	39
5.1.5 Marrocos	40
5.1.6 África do Sul	42
5.1.7 Tunísia	47
5.2 Leitura adicional	48
Box 5: Como é produzido o hidrogênio verde e quais são as “cores” do hidrogênio	49



Prefácio

de **Imme Scholz**, Diretora da Fundação Heinrich Böll, e **Dagmar Pruin**, Presidente da Brot für die Welt (Pão para o Mundo).

A mudança climática já está causando grandes danos em todo o planeta, exacerbando as crises socioeconômicas existentes, principalmente nos países do Sul Global. O consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis é responsável pela maior parte das emissões globais de GEE. A invasão russa da Ucrânia também demonstra claramente o papel que os combustíveis fósseis desempenham em conflitos. Portanto, países e comunidades ao redor do mundo devem fazer uma rápida transição para se distanciar dos combustíveis fósseis e trazer a humanidade para um caminho mais seguro rumo a um futuro sustentável, protegendo meios de subsistência e ecossistemas, permanecendo dentro do limite de 1,5°C, conforme o Acordo de Paris.

O hidrogênio verde e seus derivados, produzidos a partir de energia renovável, provavelmente vão desempenhar um papel importante nessa transição. Embora ele seja amplamente preferível aos combustíveis fósseis, ainda precisa de recursos: diferentes materiais naturais, terra e água. Portanto, não é uma panaceia, como algumas vozes defendem. Os principais usos do hidrogênio verde e seus derivados precisarão ser direcionados para aplicações específicas onde a eletrificação não é possível a longo prazo, como transporte aéreo e marítimo de longa distância, algumas indústrias pesadas e como alternativa flexível para sistemas de energia baseados em fontes renováveis.

A produção de hidrogênio verde requer geração de energia renovável em uma escala tão grande que o Sul Global, com seu excelente potencial renovável, provavelmente se tornará um agente importante nessa transição. Além disso, como os custos de produção serão impulsionados principalmente pelos custos de produção de energia renovável, há um potencial significativo para o comércio internacional de hidrogênio verde ou produtos derivados, exportados de países com potencial renovável abundante e escalável.

O hidrogênio verde pode oferecer benefícios e oportunidades para o desenvolvimento socioeconômico dos países e ajudá-los a saltar em direção à infraestrutura de energia renovável e tecnologias associadas. No entanto, também existem riscos para as comunidades locais e os países exportadores localizados no Sul Global contemplados.

Desenvolver infraestrutura para um mercado de hidrogênio verde, então, é uma prioridade, especialmente para muitos governos de nações ricas. Mas o mercado emergente de hidrogênio verde deve ser moldado de forma a levar em consideração os interesses e direitos de todas as partes envolvidas, em uma situação que é marcada por fortes desequilíbrios de poder. Nós, a Fundação Heinrich Böll e Pão para o Mundo, acreditamos que é necessária uma intervenção política apropriada para orientar a expansão do investimento internacional e o comércio de hidrogênio verde e seus derivados em uma direção sustentável. Essa sustentabilidade terminaria beneficiando o desenvolvimento de longo prazo do setor. Portanto, deve ser do próprio interesse de formuladores de políticas, investidores e comunidades afetadas moldar regras que todas as partes envolvidas cumpram.

Passamos um tempo considerável interagindo com organizações da sociedade civil e outras importantes partes interessadas em potenciais nações exportadoras do Sul Global, em um processo de consultas “de baixo para cima”. Esses diálogos se concentraram no papel fundamental que o comércio de hidrogênio verde poderia desempenhar em suas economias e, particularmente, na identificação e formulação de um conjunto de propostas de padrões, instrumentos jurídicos e processos políticos, garantindo assim investimentos sustentáveis e o comércio justo de hidrogênio verde.

Precisamos aproveitar a oportunidade e moldar o comércio emergente de hidrogênio verde agora, em sua infância. Este documento fornece orientação para tomadores de decisão e investidores para garantir um comércio sustentável de hidrogênio que contribua para uma transição energética justa e honesta, bem como para a segurança energética, ao mesmo tempo em que ajuda a mitigar as mudanças climáticas.

Siglas e abreviaturas



CO₂	dióxido de carbono
ESG	ambiental, social e de governança
UE	União Europeia
CLPI	consentimento livre, prévio e informado
PIB	produto interno bruto
GEE	gás de efeito estufa
GW	gigawatt
AIE	Agência Internacional de Energia
OIT	Organização Internacional do Trabalho
AIER	Ag. Internacional de Energia Renovável
kWh	quilowatt hora
m³	metro cúbico
Mt	milhões de toneladas
PtX	Power-to-X
P&D	pesquisa e desenvolvimento



Resumo executivo

O hidrogênio verde – hidrogênio produzido a partir de eletrólise alimentada por eletricidade renovável – provavelmente desempenhará um papel importante na transição energética global para um futuro livre de combustíveis fósseis, compatível com o clima e o meio ambiente. Como seu custo de produção será determinado principalmente pela disponibilidade de energia renovável abundante e barata, os países com esse potencial provavelmente se tornarão exportadores de hidrogênio ou seus derivados (como metanol verde, amônia verde, produtos Power-to-X). Muitos desses países estão no Sul Global, levando alguns defensores do hidrogênio verde a saudar os enormes benefícios projetados do comércio de hidrogênio verde globalmente.

As experiências históricas com comércio e investimento Norte-Sul nem sempre foram positivas, para dizer o mínimo. Desequilíbrios de poder levaram a uma história sangrenta de exploração e injustiça ambiental, desde os primeiros dias do genocídio da empresa holandesa das Índias Orientais nas ilhas Banda até a atual mineração de cobalto na República Democrática do Congo. Isso levou algumas vozes a denunciar o nascente comércio global de hidrogênio verde desde o início como um empreendimento extrativo neocolonial. Nós ousamos discordar. Ciente dos riscos inerentes às relações comerciais entre parceiros desiguais, ainda acreditamos fundamentalmente que o futuro é algo a ser moldado, especialmente quando as lições aprendidas com o passado são aplicadas ao presente. As oportunidades potenciais de desenvolvimento econômico e bem-estar nos países consumidores e produtores são grandes demais para serem deixadas de lado, especialmente devido à necessidade global urgente de descarbonizar. O que pode se tornar um negócio multibilionário ainda está em sua infância. Portanto, nossas perguntas iniciais são: Como o novo investimento emergente e a relação comercial podem evitar os erros do passado? Como pode ser moldado desde o início para se tornar justo, equitativo e sustentável?

Com esta questão em mente, a Fundação Heinrich Böll e a Pão para o Mundo organizaram uma série de workshops com agentes nacionais e globais e encomendaram um documento sobre opções de políticas. Esse processo gerou critérios e medidas que permitiriam que a produção e o comércio de hidrogênio verde comesçassem em melhores condições, garantindo benefícios para a população local, comunidades e nações exportadoras e importadoras, mantendo a integridade ambiental, a justiça social e os direitos humanos. Resumindo, surgiram os seguintes critérios e políticas:

- **Como um princípio abrangente, as políticas de hidrogênio verde** precisam ser moldadas de tal forma que os países produtores não apenas permaneçam exportadores de hidrogênio bruto, mas se beneficiem da criação de valor ao longo de toda a cadeia de produção e comércio. Os países exportadores devem, portanto, considerar como alavancar a demanda externa e as receitas e investimentos correspondentes para “impulsionar” a produção de energia renovável e hidrogênio para fins domésticos. Os países consumidores, por sua vez, devem considerar quais arranjos comerciais e de investimento apoiariam esse princípio. Este não é apenas um imperativo de justiça social, mas também logisticamente preferível, uma vez que os derivados de hidrogênio verde são mais fáceis de transportar do que os produtos de hidrogênio verde bruto. **Os roteiros de hidrogênio verde como parte das estratégias nacionais de energia** – incorporados em planos nacionais de desenvolvimento sustentável e contribuições determinadas nacionalmente (CNDs, ou NDCs – do inglês Nationally Determined Contributions) – podem fornecer uma visão de longo prazo para o hidrogênio para uso doméstico, bem como para exportação. Esses planos devem ser coordenados pelos respectivos governos com as diversas partes interessadas, incluindo as comunidades locais. Esses planos devem garantir que os países exportadores não sejam apenas fornecedores de matérias-primas, mas também possam se beneficiar internamente usando sua produção e comércio de hidrogênio verde para gerar progresso econômico, acesso à energia, meios de subsistência e industrialização.
- A produção de hidrogênio verde deve ser baseada em **fortes padrões e critérios sociais e de sustentabilidade**, incluindo o respeito pelos direitos humanos e um princípio de “não prejudicar” em relação ao meio ambiente e às comunidades locais.
 - Para garantir **benefícios ambientais**, o vazamento de hidrogênio deve ser evitado, o uso de água minimizado e a potencial dessalinização realizada de forma limpa; é fundamental um planejamento cuidadoso do território das instalações, com sólidas avaliações de impacto estratégico e específico (socioeconômico e ambiental) e coordenação com as comunidades locais. Em particular, os hotspots de biodiversidade devem ser evitados como locais para instalações de hidrogênio verde. A utilização de recursos deve ser minimizada e a reciclagem, em especial de materiais raros, promovida.

- Para **garantir a justiça social**, é necessário fornecer treinamento de habilidades para as comunidades locais para que elas também possam obter os novos empregos criados. Esses empregos precisam ser pagos de forma justa e segura, sem qualquer expropriação ou deslocalização/remoção de comunidades locais. O princípio do **consentimento livre, prévio e informado** (CLPI, conforme previsto na Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT)) precisa ser respeitado não apenas para comunidades marginais e minoritárias, mas também para todas as populações afetadas. As pessoas impactadas precisam ser consultadas e compensadas de forma justa, desde o planejamento até o monitoramento, uma vez que a instalação esteja em funcionamento.
- Políticas de **incentivo bem elaboradas podem gerar o aumento de escala inicial necessário para que o hidrogênio verde se torne mais atrativo economicamente**. Para **garantir que apenas hidrogênio verde seja produzido e comercializado**, políticas apropriadas – em particular aquelas destinadas a reduzir a diferença de preço do hidrogênio fóssil – precisam ser implementadas. Sob os altos preços atuais dos combustíveis fósseis, essa diferença de preço inicial caiu consideravelmente, permitindo um salto mais fácil diretamente para o hidrogênio verde. A remoção de subsídios fósseis, a instalação de preços de carbono, pagamentos direcionados, bem como a promoção do hidrogênio verde e seus produtos derivados, como o aço verde, por meio de compras públicas, são elementos que podem contribuir para esse objetivo. Outras medidas possíveis são cotas e obrigações, misturando requisitos para o uso do hidrogênio verde para garantir uma demanda fixa. Alinhar políticas e estratégias nacionais com roteiros bem fundamentados e regulamentação sólida que forneça segurança a empresas e investidores pode gerar a expansão inicial necessária para tornar o hidrogênio economicamente atraente. A cooperação internacional e a melhoria regulatória podem garantir um mercado maior para o hidrogênio verde.
- Há **questões de governança** a serem abordadas: o que dá ao hidrogênio verde seu valor comercial é sua propriedade verde, que precisa ser monitorada e verificada de forma transparente e confiável, de acordo com critérios acordados internacionalmente, que precisam de regulamentação e supervisão. **Para garantir que o comércio de hidrogênio verde funcione sem problemas**, é necessário um sistema de certificação, rastreamento e contabilidade, bem como

uma definição harmonizada de hidrogênio verde para que “verde” de fato signifique 100% renovável, além da necessidade de padrões para hidrogênio. Os arranjos para a negociação real (quais commodities, plataformas, condições, produtos financeiros, procedimentos de negociação) precisam ser acordados, bem como garantias/proteções aos investidores em relação às condições sob as quais eles podem comercializar o hidrogênio produzido como hidrogênio verde em projetos de investimento planejados.

- **Políticas para produção e comércio de hidrogênio verde e sustentável podem ser desenvolvidas nos níveis nacional, bilateral, multilateral e internacional. Cada uma dessas opções tem vantagens e desvantagens, com opções que vão desde contratos bilaterais até um tratado internacional de hidrogênio verde. Para iniciar o mercado de forma relativamente rápida sob padrões e critérios ambiciosos, um “clube do hidrogênio verde” – abrangendo um conjunto de países ambientalmente e socialmente motivados que concordam com critérios, políticas e mecanismos comerciais – seria a melhor opção?**

O projeto não investigou hidrogênio fóssil ou nuclear. **Rejeitamos o uso de hidrogênio não renovável devido à continuação da extração fóssil nociva, emissões associadas de gases de efeito estufa (GEE)¹ e práticas nucleares arriscadas.²** Obviamente, no caso de governos e empresas que persistem com hidrogênio não renovável, todos os critérios mencionados neste relatório se aplicam, enquanto um amplo conjunto de critérios adicionais precisaria ser estabelecido para reduzir problemas adicionais criados por meio de tecnologias fósseis e nucleares. O projeto também não avaliou o comércio de hidrogênio verde na estrutura mais ampla do comércio de commodities – os benefícios, injustiças e desvantagens do comércio de commodities entre o Norte e o Sul foram amplamente discutidos em outros lugares. Basta dizer que pedimos que todas as políticas comerciais relacionadas ao clima, incluindo aquelas relacionadas ao hidrogênio verde e seus derivados, sejam enquadradas na transição justa com as pessoas e o planeta em mente.³

O mercado internacional de hidrogênio verde ainda está em sua infância. Os formuladores de políticas devem aproveitar a oportunidade para criar um modelo de como um comércio baseado em direitos humanos, equitativo, justo e ambientalmente saudável deve funcionar. As propostas deste documento devem ser usadas como modelo para tornar o comércio de hidrogênio verde uma realidade positiva para as pessoas e para o planeta.

1. Dado o vazamento de metano a montante, o hidrogênio “azul” e “turquesa” feito de gás fóssil não é compatível com um futuro de 1,5°C e, portanto, deve ser excluído por políticas que fomentem a produção e o uso de hidrogênio. Diante dos desafios atuais decorrentes da dependência da importação de gás fóssil, essas tecnologias fazem cada vez menos sentido.

2. Da mesma forma, o hidrogênio da bioenergia não reduz as emissões de gases de efeito estufa e tem um impacto muito alto no uso da terra. Portanto, a bioenergia não é uma fonte adequada de hidrogênio. <https://www.biofuelwatch.org.uk/2022/hydrogen-biomass-briefing/>.

3. The Alternative Trade Mandate Alliance (n.d.), Trade: Time for a New Vision, https://www.tni.org/files/download/trade-time_for_a_new_vision.pdf.



Hidrogênio Verde:
Critérios-chave de sucesso para
o comércio e produção sustentáveis

UMA SÍNTESE BASEADA EM CONSULTAS NA ÁFRICA E NA AMÉRICA LATINA



Introdução

A mudança climática já está causando danos generalizados em todo o planeta, exacerbando as crises socioeconômicas existentes, principalmente nos países do Sul Global. Os combustíveis fósseis representam mais de três quartos das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE).⁴ À luz das crescentes secas, inundações, incêndios e eventos climáticos extremos relacionados, países e comunidades ao redor do mundo devem fazer uma transição muito rápida, distanciando-se dos combustíveis fósseis para lidar com os impactos climáticos e proteger meios de subsistência e ecossistemas, e ficar abaixo do limite de aquecimento global de 1,5°C, adotado mundialmente no Acordo de Paris.

Dentro da transição energética justa,⁵ o hidrogênio verde e seus derivados, produzidos a partir de energia renovável, podem desempenhar um papel importante tanto para as nações industrializadas quanto para as nações em processo de industrialização. Ele poderia substituir os combustíveis fósseis, devido à sua capacidade de armazenamento fácil e de longo prazo, e preencher lacunas temporárias de fornecimento no suprimento de energia renovável em uma economia cada vez mais eletrificada.

O hidrogênio verde tem um amplo campo de aplicações, especificamente para indústrias difíceis de descarbonizar e difíceis de eletrificar, como aço, cimento, vidro e cerâmica, produtos químicos, fertilizantes e transporte marítimo e aéreo de longa distância.⁶ De acordo com o direcionamento de 1,5°C da Agência Internacional de Energia Renovável (AIER), descrito no World Energy Transition Outlook,⁷ o hidrogênio verde e seus derivados serão responsáveis por 12% do uso final de energia até 2050.

No entanto, hoje, 98% do hidrogênio produzido globalmente vem de combustíveis fósseis e menos de 1% de energia renovável.⁸ Como os custos de produção de hidrogênio verde serão impulsionados em grande parte pelo potencial renovável (incluindo custo), é provável que surja um comércio internacional significativo de hidrogênio ou produtos derivados, como amônia. O hidrogênio verde será exportado de países com potencial renovável abundante e escalável – por exemplo, eólico, solar e geotérmico. As projeções sugerem que cerca de um quarto do hidrogênio produzido globalmente será comercializado internacionalmente em 2050.⁹



Introdução continuação

Atingir as metas climáticas acordadas exigirá uma rápida expansão da produção de hidrogênio verde. A Agência Internacional de Energia (AIE) afirma que a produção anual global de hidrogênio de base renovável precisará aumentar para pelo menos 500 milhões de toneladas (Mt) para ser consistente com os cenários de neutralidade climática.¹⁰ Embora a maior parte do hidrogênio provavelmente seja usada local ou nacionalmente,¹¹ o comércio internacional de hidrogênio verde e seus derivados ainda terá um papel muito importante.

Além disso, na realidade política emergente da Europa e de outras geografias, afastando-se dos combustíveis fósseis russos, a pressão por importações alternativas está aumentando. O plano “RepowerEU”, lançado em 18 de maio de 2022, dobrou as ambições da UE para importações de hidrogênio verde 2030, para uma projeção de 10 Mt por ano.

O hidrogênio verde pode oferecer benefícios e oportunidades para o desenvolvimento socioeconômico justo, sustentável e baseado em direitos dos países e ajudá-los a “saltar”¹⁷ em direção à infraestrutura de energia renovável e tecnologias associadas. Mas também poderia continuar trajetórias bem trilhadas nas quais recursos no Sul Global são extraídos para criar riqueza no Norte Global, com pouca consideração pelos direitos humanos ou o imperativo de promover a equidade, tanto dentro como entre os países. Então, quais riscos o comércio de hidrogênio verde acarretará para os prováveis países exportadores localizados no Sul Global? Que políticas internacionais e nacionais e estruturas regulatórias são necessárias para garantir que os investimentos e o comércio de hidrogênio verde se desenvolvam desde o início em uma estrutura de desenvolvimento sustentável justo, com equidade e direitos humanos?

Para as economias em desenvolvimento, é imperativo aumentar o fornecimento de energia limpa para alcançar o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7, das Nações Unidas, sobre o acesso universal à energia limpa, bem como atingir os outros Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Esses objetivos significam – para regiões desenvolvidas e em desenvolvimento – que é necessária uma expansão drástica da energia renovável, acompanhada pela redução do consumo desnecessário de energia e melhorias drásticas na eficiência energética. Somente isso permitirá um futuro de energia 100% limpa e renovável e atenderá às necessidades de energia limpa das pessoas, economias e seus ambientes.

Em países com potencial significativo para recursos de energia renovável, a opção de produzir hidrogênio verde está ganhando força rapidamente, inclusive para fins de exportação. Em novembro de 2021, 522 projetos de hidrogênio limpo em larga escala foram planejados ou comissionados globalmente,¹⁸ e esse número está crescendo devido a preocupações geopolíticas. Os preços da produção de energia renovável e eletrolisadores estão caindo – até mesmo a Shell admite que o verde está se tornando mais barato do que o chamado hidrogênio azul feito de gás fóssil.¹⁹

Como o mercado ainda está emergindo, sua forma e estrutura ainda não são claras – atualmente, ele é estruturado principalmente em torno de acordos bilaterais entre futuros fornecedores e importadores. No entanto, é claro que qualquer mercado internacional de hidrogênio verde será um híbrido – com elementos de um mercado de commodities (semelhante aos mercados existentes de hidrocarbonetos), mas também fortemente influenciado por escolhas de design político (em particular em relação à natureza verde do hidrogênio). É essencial que quaisquer acordos comerciais – bi, pluri ou multilaterais – assegurem que o comércio seja justo, equitativo e sustentável, e que beneficie tanto os países exportadores quanto os importadores. Sem estruturas políticas apropriadas, a expansão do investimento internacional e do comércio de hidrogênio verde e seus derivados pode ocorrer de maneira insustentável e exploratória. Oportunidades para desenvolver indústrias domésticas e empregos associados podem ser perdidas. A competição internacional acirrada pela produção de menor custo pode levar a práticas prejudiciais semelhantes às observadas no contexto da extração de combustível fóssil.²⁰ Isso não apenas pode acabar prejudicando preciosos ambientes naturais e comunidades locais; os riscos ambientais, sociais e de governança (ESG) associados também podem prejudicar o desenvolvimento justo de longo prazo do setor.

Esses riscos são mais prováveis para nações exportadoras localizadas no Sul Global, devido à governança frequentemente fraca e relações de poder desiguais. De acordo com uma análise recente, o Sul Global está experimentando uma grande apropriação líquida de recursos pelo Norte Global, via comércio e fluxos financeiros ilícitos, no valor de mais de US\$ 10 trilhões por ano.²¹ A maioria dos países do Sul Global atualmente depende de combustíveis fósseis por sua energia. Portanto, é importante garantir que a estrutura para o desenvolvimento de um comércio de hidrogênio verde esteja inserida em uma estratégia de transição energética mais ampla, justa e sustentável, permitindo que os benefícios de (novas) estruturas de energia renovável e produção de hidrogênio verde sirvam as populações locais e indústrias, criando novas tecnologias, habilidades, empregos e acesso à energia limpa sem prejudicar o meio ambiente. O desenvolvimento geral do hidrogênio verde e as políticas comerciais relacionadas devem respeitar os princípios de uma transição justa para um futuro de energia limpa. Portanto, deve ser do próprio interesse de investidores, países anfitriões e comunidades afetadas moldar um comércio justo e “sustentável” de hidrogênio verde que seja definido por regras que, idealmente, todos os participantes cumpram, permitindo investimentos em países do Sul Global que os ajudem a avançar rumo à infraestrutura e alternativas de energia renovável e sustentável.²²

Embora o comércio de hidrogênio seja incipiente, certos padrões, políticas e certificação para produção e comércio de hidrogênio verde precisam ser estabelecidos e implementados para beneficiar a todos. É crucial acertar desde o início e garantir que o hidrogênio verde seja promovido, não o hidrogênio de origem fóssil ou nuclear.

Box 1

Uma perspectiva de justiça climática no desenvolvimento do hidrogênio verde

A crise climática global, exacerbada pelos impactos da pandemia de COVID-19, está tendo um efeito devastador em famílias, comunidades e ecossistemas em todo o mundo. Somente em 2022, houve ondas de calor recorde na Europa, inundações de monções no Paquistão,¹² a pior seca em 40 anos no Chifre da África,¹³ enquanto eventos climáticos extremos expuseram milhões de pessoas à insegurança alimentar e outras inseguranças na América do Sul. À medida que as comunidades enfrentam cada vez mais a necessidade de se preparar e responder às emergências climáticas, são as mulheres e meninas que sofrem desproporcionalmente o peso. Para evitar a crescente perda de vidas, biodiversidade e infraestrutura, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas pediu “ação ambiciosa e acelerada [...] envolvendo todos no planejamento, atenção à equidade e justiça e baseando-se no conhecimento indígena e local”.¹⁴

Para fazer isso, uma perspectiva de justiça climática é essencial. Aqueles que são historicamente marginalizados ou já vulneráveis são os que sofrem primeiro e mais gravemente, apesar de serem os menos responsáveis pela crise climática. Para simplificar, a justiça climática requer a prevenção de danos, compensando os danos já causados na medida do possível – especialmente no Sul Global – e isso requer mitigação, adaptação e compensação por perdas e danos. Reconhecer isso é um primeiro passo nos debates sobre uma transição energética global justa e equitativa e o papel do hidrogênio verde nela. Para serem consideradas justas para o clima, as políticas e programas de hidrogênio verde devem incluir os seguintes princípios e recomendações:

1. Garantir uma voz para as populações e comunidades vulneráveis ao clima e às vítimas da contínua extração de combustíveis fósseis. O rápido desenvolvimento de uma economia de hidrogênio verde é um elemento decisivo para a eliminação global dos combustíveis fósseis e, portanto, de interesse imediato das populações mais vulneráveis. A justiça climática requer minimizar os potenciais impactos negativos da transição sobre os mais vulneráveis, ao mesmo tempo em que maximiza as oportunidades para eles. As comunidades locais em áreas de projetos de hidrogênio verde devem ser consultadas, tomando cuidado especial para incluir mulheres e respeitando o princípio do consentimento livre, prévio e informado (CLPI) antes de implementar quaisquer projetos ou políticas que possam afetá-las. O compromisso dos governos com essas consultas e de agir apenas se houver consentimento (conforme declarado na Convenção 169 da OIT) é

uma pré-condição para um processo de transição energética verde e justo bem-sucedido. O CLPI também permitirá que as comunidades negociem com eventuais desenvolvedores de projetos de hidrogênio verde, inclusive em termos de benefícios para as comunidades locais (empregos, eletricidade, água dessalinizada etc.). Também pode levar a um redesenho de projetos, por exemplo, para sistemas agrofotovoltaicos. Os acordos sobre hidrogênio verde devem, portanto, incluir instrumentos para avaliar os impactos sociais e ambientais de projetos e instrumentos, garantindo que esses impactos sejam positivos. Esses acordos também podem **evitar o racismo ambiental**, ao se comprometerem com cláusulas que impeçam o desenvolvimento de políticas e empreendimentos que promovam esse tipo de racismo, ou seja, que assegurem que nenhum grupo particular de pessoas, sejam grupos étnicos, raciais ou de classe, carregue uma parcela desproporcional das consequências ambientais negativas de operações e políticas econômicas.

2. Abordar a desigualdade entre o Norte Global e o Sul Global. Muitos países pobres do Sul Global emitem baixas emissões per capita de GEE.¹⁵ No entanto, eles veem suas oportunidades de desenvolvimento sendo ameaçadas pelos impactos climáticos, pela necessidade de medidas de adaptação caras, bem como por investimentos iniciais mais altos em mitigação climática. Ao mesmo tempo, em 2018, cerca de 789 milhões de pessoas não tinham acesso à infraestrutura elétrica moderna.¹⁶ A justiça climática exige que esses países obtenham apoio para transformar e desenvolver seus sistemas de energia, ao mesmo tempo em que abordam a desigualdade energética e a pobreza. O hidrogênio verde pode implicar a abertura de novas formas de receitas de exportação para substituir as exportações de combustíveis fósseis, por exemplo através da exportação de hidrogênio verde e derivados, bem como contribuir para o combate à pobreza energética. Os países merecem acesso a *know-how* relevante, capacitação e tecnologias, bem como oportunidades a montante e a jusante para a criação de valores, além das matérias-primas que um novo sistema internacional de energia baseado em renováveis e o comércio de hidrogênio criam. Riscos inerentes ao investimento em novas tecnologias devem ser mitigados através de parcerias de longo prazo com países importadores.

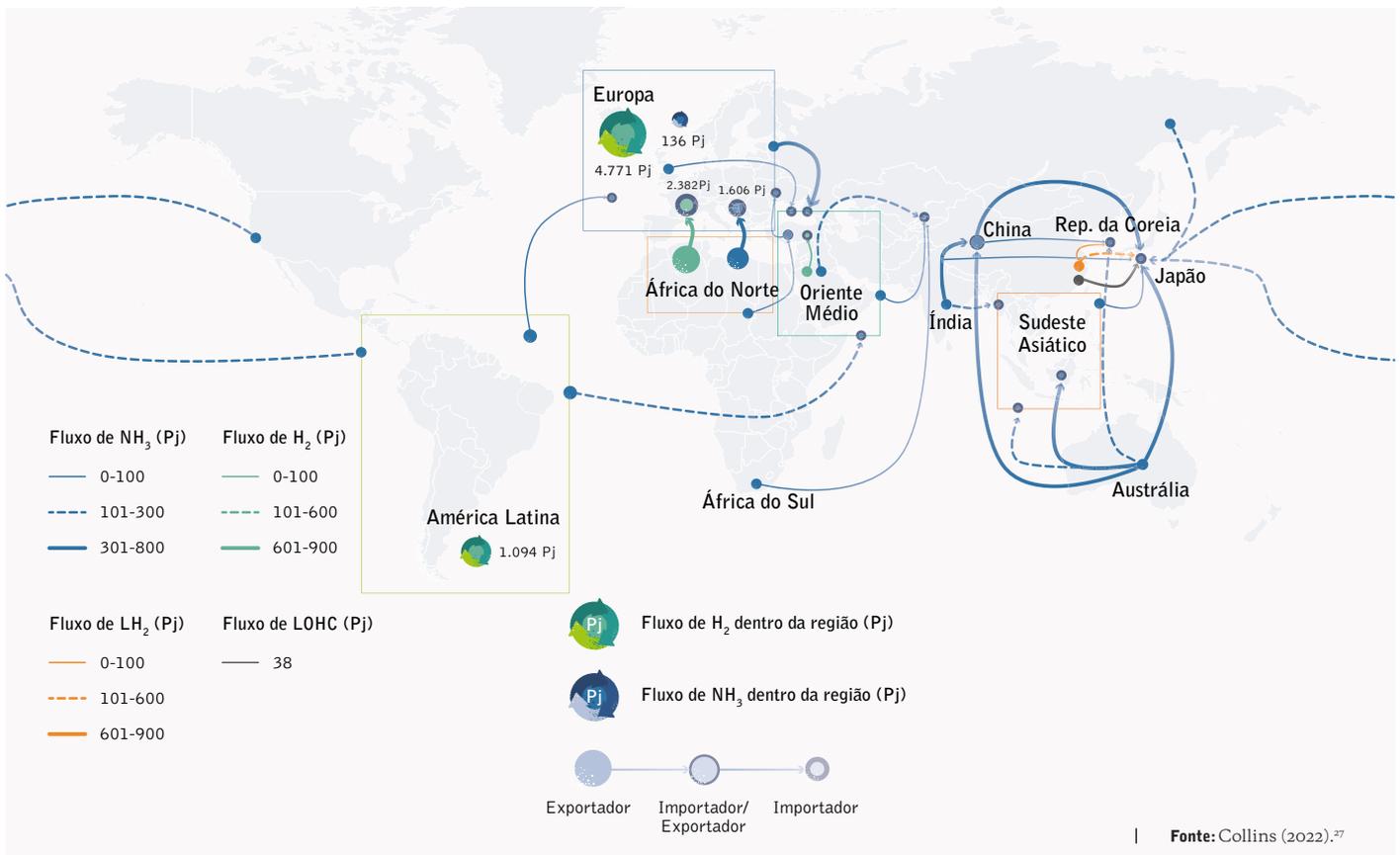


Introdução continuação

A Fundação Heinrich Böll e Brot für die Welt decidiram, no outono de 2021, lançar um projeto para desenvolver tais critérios e políticas de “baixo para cima”. O projeto envolveu a sociedade civil e outras partes interessadas nas principais nações exportadoras em potencial do Sul Global: Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Marrocos, África do Sul e Tunísia. Em um processo descentralizado de diálogos, entrevistas e pesquisas com várias partes interessadas, foram explorados os **padrões, instrumentos jurídicos e processos políticos que levam a investimentos sustentáveis e comércio justo de hidrogênio verde**. Além das consultas nacionais, foram realizadas duas oficinas de consultas internacionais. O projeto produziu uma ampla gama de publicações que também contribuíram para esta síntese, por exemplo, um documento sobre opções de políticas para um comércio verde de hidrogênio,²³ um estudo²⁴ sobre pastoreio e o desenvolvimento de grandes instalações de energia renovável, um documento de referência sobre hidrogênio²⁵ e materiais de educação popular.²⁶

Este documento constitui o resumo das consultas nacionais, do processo de políticas e das contribuições recebidas de várias partes interessadas. O objetivo é informar tomadores de decisão e investidores sobre como garantir que qualquer negociação de hidrogênio contribua para uma transição energética justa e honesta para a segurança energética, bem como para a prevenção das mudanças climáticas. As propostas garantiriam também o respeito pelos condicionalismos ambientais e um aumento do apoio às comunidades locais. Se implementadas, as recomendações deste documento podem promover um futuro melhor para as pessoas e o meio ambiente.

Figura 1: Mapa comercial projetado e volumes de hidrogênio verde em 2050



“É essencial fornecer aos formuladores de políticas um conjunto de recomendações geralmente aceitas que possam garantir uma produção e comércio sustentáveis e benéficos de hidrogênio verde para todos. Paralelamente, nos países que planejam exportar hidrogênio verde, a sociedade civil precisa estar ciente das oportunidades e riscos associados ao comércio emergente de hidrogênio, permitindo-lhes interagir de maneira informada com seus próprios formuladores de políticas nacionais e atores industriais. Esta síntese visa alcançar ambos.”

4. United Nations (n.d.), Causes and Effects of Climate Change, <https://www.un.org/en/climate-change/science/causes-effects-climate-change>.
5. Para perspectivas sobre a transição justa, v. série de publicações Just Transition, da Fundação Heinrich Böll Bruxelas (2022), <https://eu.boell.org/en/tags/just-transition> e Chandra Bhushan (2021), Achieving Net-zero through Just Transition, <https://in.boell.org/en/2021/12/20/achieving-net-zero-through-just-transition>.
6. Para obter mais informações sobre os usos potenciais do hidrogênio verde, consulte Fundação Heinrich Böll e Brot für die Welt (2022), Green Hydrogen – Hype or Beacon of Hope? https://www.boell.de/sites/default/files/2022-08/green_hydrogen_-_hype_or_beacon_of_hope.pdf. <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>
7. IRENA (2021), World Energy Transition Outlook, 1.5°C Pathway, <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook>.
8. IRENA (2022), Green Hydrogen Certification, https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_Green_Hydrogen_Certification_Brief_2022.pdf.
9. IRENA (2022), Global Hydrogen Trade Outlook <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Global-Hydrogen-Trade-Outlook>.
10. A AIE incluiu o hidrogênio azul em seus planos, o que não consideramos uma opção sustentável. A produção atual de hidrogênio é de cerca de 70 Mt, menos de 1% da qual é baseada em energia renovável. Cf. IEA (n.d.), The Future of Hydrogen, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>.
11. A AIER considera que 75% da demanda de hidrogênio em 2050 será produzida e usada localmente/regionalmente. Cf. IRENA (2022), A Quarter of Global Hydrogen Set for Trading by 2050 Tweet, <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2022/Jul/A-Quarter-of-Global-Hydrogen-Set-for-Trading-by-2050>. No entanto, uma pesquisa recente da McKinsey estima uma quantidade muito maior de hidrogênio comercializado (todo hidrogênio, não só verde) até 2050, o que tornaria as propostas deste documento ainda mais urgentes. Cf. McKinsey & Company Hydrogen Council (2022), Global Hydrogen Flows: Hydrogen Trade As a Key Enabler for Efficient Decarbonization, <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2022/10/Global-Hydrogen-Flows.pdf>.
12. Kevin Trenberth (2022), 2022's Supercharged Summer of Climate Extremes: How Global Warming and La Niña Fueled Disasters on Top of Disasters, The Conversation, September 15, <https://theconversation.com/2022s-supercharged-summer-of-climate-extremes-how-global-warming-and-la-nina-fueled-disasters-on-top-of-disasters-190546#:~:text=The%20Northern%20Hemisphere%20extreme%20summer,an%20estimated%203%20million%20people>.
13. Lizzy Davies (2022), Horn of Africa Drought Puts 3.6m Children at Risk of Dropping Out of School, The Guardian, September 22, <https://www.theguardian.com/global-development/2022/sep/22/horn-of-africa-drought-puts-36m-children-at-risk-of-dropping-out-of-school>
14. IPCC (2022), Climate Change: A Threat to Human Wellbeing and Health of the Planet. Taking Action Now Can Secure Our Future, <https://www.ipcc.ch/2022/02/28/pr-wgii-ar6/>.
15. Mimi Alemayehou et al. (2022), Reframing Climate Justice for Development, Energy for Growth Hub, https://www.energyforgrowth.org/wp-content/uploads/2021/09/FINAL_Reframing-Climatic-Justice-for-Development.pdf.
16. Ibid.
17. Por exemplo, as rápidas transformações em curso e a aceleração da digitalização. Os países do Sul Global conseguiram “saltar” para novas tecnologias. Um exemplo é a introdução do uso de smartphones e o investimento público e privado em infraestrutura, introdução de um ambiente regulatório e comercial para esses novos mercados e modelos de negócios. A questão é se o salto no setor de energia é possível e se será acompanhado pela mesma quantidade de investimento público-privado em serviços públicos, regulamentos e finanças.
18. IRENA, 2022, Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor, <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>.
19. The Energy Mix (2022), Green Hydrogen Will Cost Less than Fossil-Fuelled “Blue”, Shell CEO Admits, <https://www.theenergymix.com/2022/08/07/green-hydrogen-will-cost-less-than-fossil-fuelled-blue-shell-ceo-admits/>.
20. D. Porter and C. Anderson (2021), Illicit Financial Flows in Oil and Gas Commodity Trade: Experience, Lessons and Proposals, <https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/illicit-financial-flows-oil-gas-commodity-trade-experience.pdf>.
21. Jason Hickel et al. (2022), Imperialist Appropriation in the World Economy: Drain from the Global South through Unequal Exchange 1990–2015, Global Environmental Change, 73, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937802200005X>.
22. Na UE, estão em andamento algumas tentativas de lidar com o consumo excessivo de energia que podem ser intensificadas por meio de melhorias na eficiência energética e na aceleração da economia circular. Cf. ex. European Parliament (2022), Why Is the EU's Right to Repair Legislation Important?, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/2022031ST026410/why-is-the-eu-s-right-to-repair-legislation-important#:~:text=The%20European%20Parliament%20has%20been,%2C%20cost%20efficiency%20and%20attractive>.
23. Benjamin Görlach, Michael Jakob, e Ramiro de la Vega (2022), Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> and <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.
24. Ann Waters-Bayer e Hussein Tadicha Wario (2022), Pastoralism and Large-scale Renewable Energy and Green Hydrogen Projects, <https://www.boell.de/en/2022/05/18/pastoralism-and-large-scale-renewable-energy-and-green-hydrogen-projects>.
25. Heinrich Böll Foundation (2022), Green Hydrogen – Sustainable Investment and Fair Trade, publication series, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen>.
26. Heinrich Böll Foundation e Brot für die Welt (2022), Green Hydrogen – Hype or Beacon of Hope?, https://www.boell.de/sites/default/files/2022-08/green_hydrogen_-_hype_or_beacon_of_hope.pdf <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>
27. Leigh Collins (2022), This Is What the Massive International Clean Hydrogen Trade May Look Like in 2050: Irena, <https://www.hydrogeninsight.com/analysis/this-is-what-the-massive-international-clean-hydrogen-trade-may-look-like-in-2050-irena/2-1-1330400>.



Condado de Marsabit, Quênia: As estruturas permanentes da Lake Turkana Wind Power (LTWP) incluem 365 turbinas eólicas, uma subestação e acomodações para trabalhadores. As turbinas foram instaladas uma por dia ao longo de um ano. Cada uma tem uma capacidade de 850 quilowatts. Elas fornecem 310 MW de energia para a rede nacional do Quênia. © Maurizio Di Pietro / Climate Visuals Countdown

02

Resumo do processo

O objetivo do processo foi integrar um amplo conjunto de partes interessadas – desde as comunidades locais suscetíveis de serem afetadas pelo desenvolvimento de instalações de hidrogênio até especialistas internacionais ativos nos campos climático e energético – e iniciar a discussão sobre como alcançar um comércio verde e sustentável de hidrogênio. O objetivo era não apenas obter uma síntese global geralmente aceita para os formuladores de políticas entenderem quais são os principais aspectos de um futuro comércio benéfico de hidrogênio, mas também criar uma ampla conscientização da sociedade civil sobre as oportunidades e riscos associados ao comércio emergente de hidrogênio, permitindo-lhes interagir de maneira informada com seus próprios formuladores de políticas nacionais e agentes industriais.



Resumo do processo continuação

Cada um dos países participantes do projeto estabeleceu um método ligeiramente diferente para obter as contribuições das partes interessadas e elaborar suas próprias conclusões. Em geral, foram seguidas as seguintes etapas:

- Encontrar as partes interessadas de uma ampla seção da sociedade civil, de organizações não governamentais ambientais, representantes da comunidade local e dos povos indígenas, sindicatos, especialistas em energia e clima, grupos de reflexão e ativistas sociais, a representantes do governo.
- Garantir a compreensão básica dos participantes sobre o que é hidrogênio verde e como ele é produzido e negociado dentre os países (para esse fim, foram produzidos e distribuídos materiais educativos).²⁸
- Organização de questionários e workshops – em alguns casos, vários workshops por país – para avaliar as questões-chave em torno da produção e comércio de hidrogênio.

- Sintetizar os resultados das oficinas e questionários nacionais em um Documento Final do País.
- Os Documentos de Resultados dos Países foram então sintetizados em um Documento de Síntese Global.
- O documento preliminar da Síntese Global foi discutido pelos participantes do workshop e seus comentários foram integrados ao documento de síntese final (que você está lendo agora mesmo).

Paralelamente, em nome da Fundação Heinrich Böll e Brot für die Welt, o Ecologic Institute²⁹ desenvolveu um documento de políticas³⁰ investigando opções de políticas bi, pluri e multilaterais para incentivar e garantir um comércio sustentável e justo de hidrogênio verde. O documento foi discutido com um amplo grupo de especialistas internacionais, cujos comentários foram integrados na versão final. As principais políticas validadas pelos especialistas internacionais também foram incluídas no Documento de Síntese Global, assim como as políticas em sua maioria nacionais desenvolvidas pelos participantes das consultas nacionais.



Ovelhas pastando em um parque solar na Ucrânia.
© Roman Mikhailiuk / Shutterstock

28. Ibid.

29. Cf. <https://www.ecologic.eu/>.

30. Benjamin Görlach, Michael Jakob, e Ramiro de la Vega (2022), Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> and <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.

31. Fundação Heinrich Böll e Brot für die Welt (2022), Green Hydrogen – Hype or Beacon of Hope? https://www.boell.de/sites/default/files/2022-08/green_hydrogen_-_hype_or_beacon_of_hope.pdf. <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>

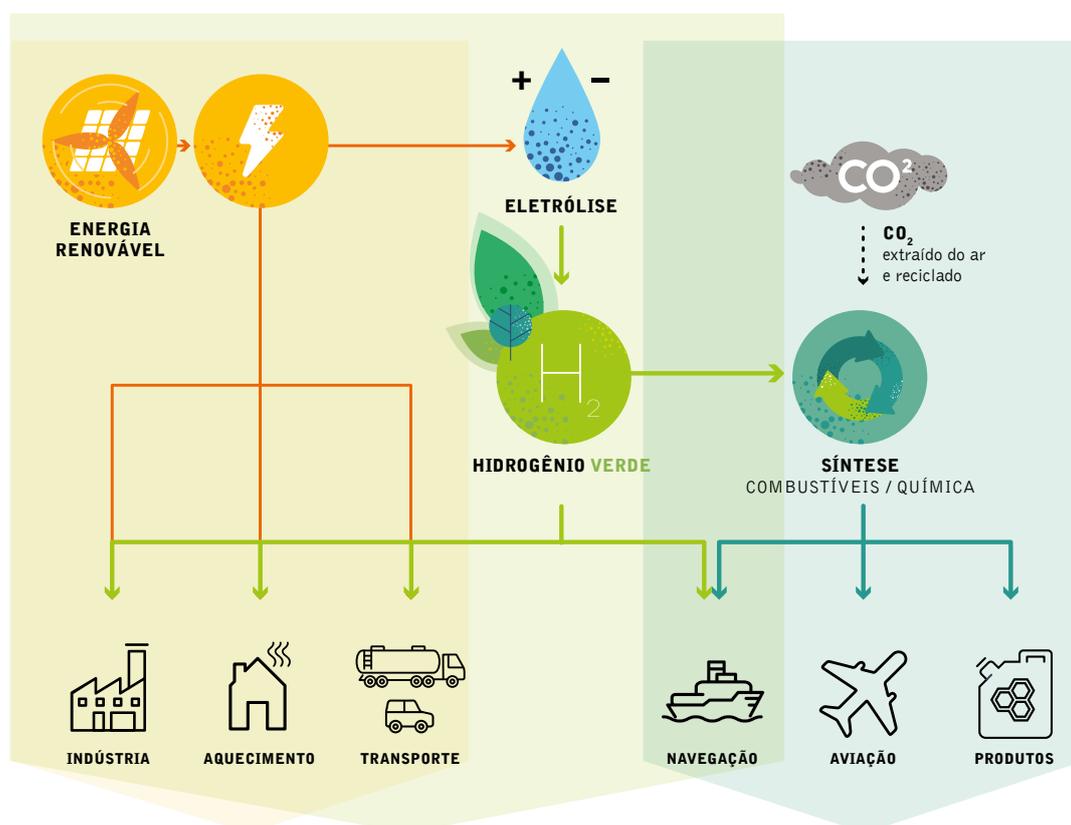
Box 2**Por que precisamos de hidrogênio verde?³¹**

O hidrogênio verde é considerado um bloco de construção essencial no caminho para um futuro livre de combustíveis fósseis com emissão zero. Além da aplicação industrial estabelecida, o hidrogênio verde pode ser implantado em setores com uso intensivo de energia e difíceis de descarbonizar. Pode ser armazenado e transportado com relativa facilidade – este último, por exemplo, em oleodutos – e pode ser usado na forma líquida como combustível, por exemplo, para aviação e navegação.

Alinhar a produção intensiva de energia de aço, alumínio, cimento ou produtos químicos com a meta climática do Acordo de Paris é muito difícil sem o uso de hidrogênio verde. Em contraste, é improvável que o hidrogênio verde desempenhe um papel no futuro previsível como combustível para carros de passeio, uma vez que carros com acionamento elétrico são significativamente mais baratos e mais eficientes.

Embora muita atenção seja dada às oportunidades do hidrogênio verde na redução das emissões de carbono, muito menos atenção é direcionada à redução do uso e desperdício de energia. Para evitar que o hidrogênio verde se torne mais uma solução tecnológica “falsa”, é importante que ele seja considerado parte de uma estratégia mais ampla para reduzir o consumo geral de energia.

Hidrogênio e Power-to-X (PtX): o termo comum “PtX” – o “P” de “potência” – refere-se à eletricidade e à entrada de energia para produção. O “X” significa diferentes produtos finais, por exemplo “power-to-gas” como um portador de energia gasosa ou “power-to-liquid” como um combustível líquido. O hidrogênio pode ser um “PtG” ou um “PtL”, dependendo do estado agregado de armazenamento. As tecnologias PtX podem “eletrificar indiretamente” setores anteriormente baseados em combustíveis fósseis. Ou seja, a eletricidade gerada a partir de energias renováveis é utilizada para produzir produtos PtX que substituem os combustíveis fósseis e descarbonizam setores como a indústria, transportes, entre outros.

Figura 2: Usos para o hidrogênio



Hidrogênio Verde:
Critérios-chave de sucesso para
o comércio e produção sustentáveis

UMA SÍNTESE BASEADA EM CONSULTAS NA AFRICA E NA AMÉRICA LATINA



Por que precisamos de critérios e políticas socioecológicas fortes para investimento e comércio de hidrogênio verde

Os workshops nacionais identificaram uma série de oportunidades, mas também ameaças relacionadas à produção e comércio de hidrogênio verde. Os primeiros precisam ser incentivados por medidas apropriadas. Os últimos devem ser evitados. As políticas e os critérios propostos neste documento visam atingir ambos.



Por que precisamos de critérios socioecológicos e políticas fortes para investimento e comércio de hidrogênio verde continuação

3.1

Principais oportunidades

- Uma economia eletrificada sustentada por hidrogênio renovável pode contribuir para o desenvolvimento e a prosperidade nos países produtores, por exemplo, promovendo a criação de valor local em toda a cadeia de valor, desenvolvendo novas habilidades por meio da transferência de *know-how* tecnológico e fortalecendo agentes da economia local. Pode também aumentar e criar novos empregos/meios de subsistência verdes para as comunidades locais, particularmente em países em desenvolvimento com uma população jovem em busca de empregos bem-remunerados. Pode ainda criar oportunidades econômicas em regiões atualmente economicamente desfavorecidas.
- O hidrogênio verde pode atuar como um catalisador para acelerar o investimento em energia limpa, desenvolvimento de mercado, acesso à energia, redução de custos e avanço rumo a 100% de energia renovável mundialmente.
- Com sua produção neutra para o clima, o hidrogênio verde pode contribuir para atingir as metas climáticas globais.
- Pode reduzir a poluição do ar e melhorar a saúde dos cidadãos ao diminuir a exposição à poluição do ar por combustíveis fósseis ou emissões de radiação.
- Pode desenvolver parcerias lucrativas e de longo prazo entre potenciais países exportadores e importadores.
- As nações exportadoras podem obter as receitas externas necessárias com as exportações de hidrogênio verde e, em particular, de produtos derivados com maior valor agregado.
- O comércio também pode incentivar a produção para atender às demandas locais de hidrogênio; criar ou descarbonizar indústrias locais – como na produção de fertilizantes³² amônia verde – e transporte; e desenvolver uma infraestrutura verde para produção de energia, bem como para transporte e armazenamento.³³
- O aumento da produção de energia renovável e de hidrogênio pode diversificar a produção de energia dos poucos atuais fornecedores de combustíveis fósseis, diminuindo os custos e aumentando a segurança do abastecimento.
- Quando bem-feita, a produção de hidrogênio verde pode fortalecer a biodiversidade e a saúde ambiental, evitando carvão extraído, outros combustíveis fósseis ou produção nuclear e poluição

3.2

Principais Preocupações

- Existem riscos relacionados a conflitos de uso da terra, reassentamento forçado e expropriação para instalações de energia renovável em grande escala, bem como violações de direitos humanos.
- Ecossistemas frágeis podem ser danificados ou destruídos por locais de instalação mal escolhidos, incluindo perturbação das rotas migratórias de aves ameaçadas e possíveis vazamentos de tubulações, o que pode aumentar as emissões de GEE.
- Outro risco associado aos vazamentos de hidrogênio é a alta inflamabilidade desse gás, que já provocou acidentes em postos de distribuição de hidrogênio.
- Como a eletrólise requer água doce, seu uso para produção de hidrogênio pode aumentar a escassez de água, o que pode levar a conflitos entre diferentes usuários de água, principalmente em regiões secas.
- Se água doce adicional for produzida para a produção de hidrogênio por meio da dessalinização, a vida marinha poderá sofrer se a salmoura da dessalinização não for tratada adequadamente.
- Se o hidrogênio for priorizado para exportações a longo prazo, isso pode abrir mão do potencial de que a capacidade de energia renovável e o hidrogênio também beneficiem o fornecimento de energia doméstica e a transição energética, por exemplo, quando os países importadores de hidrogênio oferecem preços que superam os usuários dos países exportadores. Isso pode até mesmo perpetuar um bloqueio na geração de energia de combustível fóssil se as instalações de energia renovável forem usadas apenas para produzir hidrogênio para exportação.
- O Norte Global e os países importadores mais industrializados poderiam continuar alimentando as indústrias mantendo (ou aumentando) os atuais níveis de consumo. Isso poderia desviar o hidrogênio verde de usos essenciais em setores difíceis/impossíveis de eletrificar para fins menos eficientes.
- Os empregos podem ignorar a mão de obra local na ausência de programas de capacitação.
- Os atuais problemas de equilíbrio de poder podem continuar se os países importadores tentarem impor práticas comerciais injustas, ou se a má governança por parte dos países importadores e/ou exportadores ou ambos levarem a lucros para poucos, em detrimento de muitos e do planeta.

Box 3

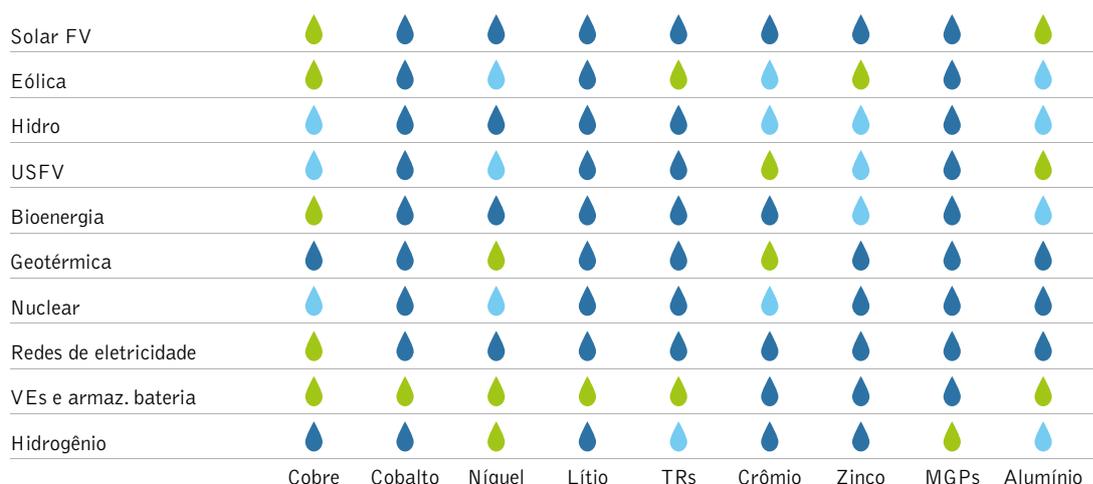
Riscos de vazamento e outros riscos potenciais relacionados ao hidrogênio verde

Várias questões requerem mais pesquisas sobre produção, transporte e uso de hidrogênio, por exemplo:

Vazamento de hidrogênio: Um estudo publicado recentemente³⁴ pelo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Reino Unido descobriu que o hidrogênio pode ser um GEE duas vezes mais potente do que se pensava anteriormente, cerca de 11 vezes mais que o dióxido de carbono (CO₂) por tonelada de emissões. Ao reagir com outros GEE na atmosfera, como metano ou ozônio, a molécula de hidrogênio pode aumentar seu potencial de aquecimento global. Assim, “qualquer vazamento de hidrogênio levará indiretamente a um aumento do aquecimento global”, alerta o relatório. A molécula de hidrogênio – a menor das moléculas gasosas – é muito volátil e, portanto, pode facilmente escapar de dutos e condutos. É um desafio fazer tanques e tubulações contendo hidrogênio completamente à prova de vazamentos, especialmente quando ele é comprimido em níveis muito altos de pressão. No entanto, muitas empresas químicas mostraram que o gerenciamento de hidrogênio – uma matéria-prima bastante cara e até agora produzida a partir de combustíveis fósseis e do processo de craqueamento – é possível sem vazamentos. Claramente, esta é uma questão que requer mais pesquisas para garantir que nenhum vazamento ocorra.

Amônia e óxido nitroso:³⁵ Outra questão que aparece na ciência recente diz respeito à amônia (NH₃), um derivado do hidrogênio. Embora a amônia possa resolver o problema de CO₂ no transporte, ela pode criar um problema de óxido nitroso (N₂O), reduzindo potencialmente os benefícios climáticos da amônia. O óxido nitroso é um GEE 273 vezes mais potente que o CO₂. A amônia foi proposta como combustível para navios, mas os potenciais efeitos colaterais adversos são pouco compreendidos. Se as liberações de nitrogênio (N₂) da amônia não forem rigidamente controladas, a escala das demandas do transporte marítimo é tal que o ciclo global do nitrogênio pode ser substancialmente alterado. Por exemplo, se houvesse um vazamento de 0,4% levando a emissões de óxido nitroso, isso acabaria com o benefício da descarbonização da eliminação do carbono dos combustíveis de transporte marítimo. Dito isto, a amônia é quimicamente uma molécula muito estável e o risco de vazamento é pequeno. Uma alternativa à combustão de amônia poderia ser a quebra de amônia em hidrogênio e nitrogênio com uso subsequente de hidrogênio em uma célula de combustível de membrana de troca de prótons (ou outras tecnologias de célula de combustível).

Figura 3: Necessidades minerais em tecnologias de energia limpa



Importância relativa dos minerais por tecnologia de energia limpa

Alta Moderada Baixa

Fonte: IEA 2021.³⁶



Por que precisamos de critérios socioecológicos e políticas fortes para investimento e comércio de hidrogênio verde continuação

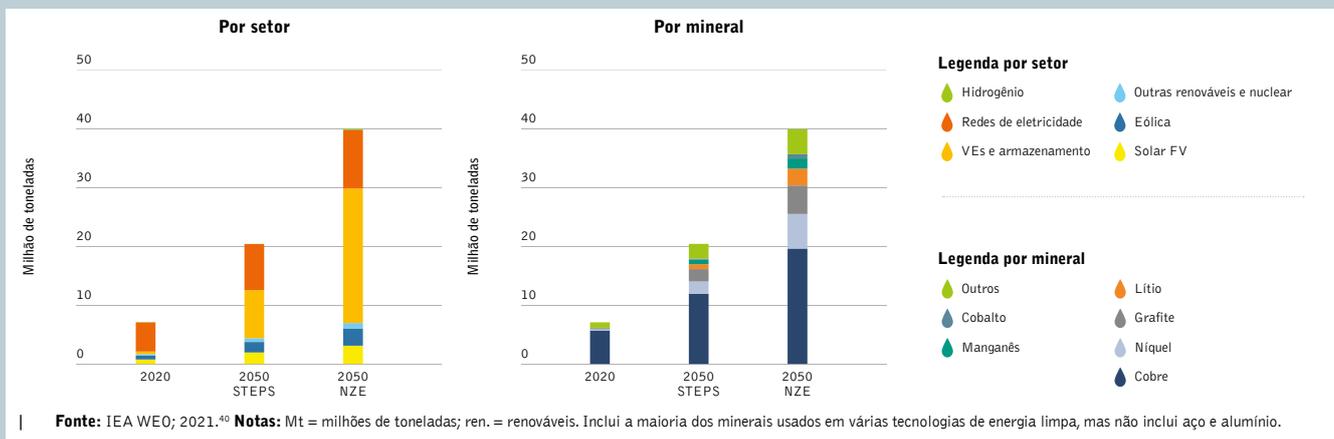
Box 3 - continuação

Riscos de vazamento e outros riscos potenciais relacionados ao hidrogênio verde

Uso de materiais:³⁷ O hidrogênio verde, como qualquer outra produção de energia, também precisa de materiais para sua produção. No entanto, uma das vantagens do hidrogênio é que ele pode ser armazenado por muito tempo, principalmente no setor de energia quando não há vento nem sol, evitando assim algumas necessidades de bateria – e muitas baterias são usadas para armazenamento de eletricidade. Isso é importante porque as baterias de íon-lítio cresceram em popularidade na última década. Sua popularidade está pressionando o fornecimento de lítio, níquel e cobalto, sendo este último extraído principalmente na República Democrática do Congo, frequentemente em condições extremamente ruins para a população e o meio ambiente locais, enquanto a mineração de lítio requer grandes quantidades de água doce e tem alta ecotoxicidade. No entanto, a energia renovável necessária para produzir hidrogênio também precisará de materiais. Nesse contexto, é importante que a maior parte dessa energia seja usada em aplicações diretas e eletrificação, com hidrogênio apenas para setores selecionados e difíceis de eletrificar. O uso de minerais varia para diferentes tecnologias de energia renovável. No entanto, em comparação com a mineração, transporte e emissões de combustíveis fósseis ou resíduos tóxicos da energia nuclear, a implantação renovável é mais limpa,

principalmente quando a **reciclagem dos minerais e materiais** utilizados é aumentada, as violações dos direitos humanos são evitadas, o consumo de água potável é reduzido, novos materiais são desenvolvidos em esquemas de pesquisa e desenvolvimento (P&D), criando uma pré-condição para o crescimento sustentável e confiável de longo prazo das tecnologias renováveis. Paralelamente, **é necessária a integração de padrões ESG mais elevados, como os padrões IRMA³⁸ sugeridos por organizações não governamentais**. A produção de hidrogênio requer alguns minerais específicos – alguns tipos de eletrolisadores precisam de metais de platina, e o níquel também é necessário em um nível relativamente alto. Um estudo alemão³⁹ relatou que, até 2040, a demanda por escândio deve aumentar 2,7 vezes, e a demanda por irídio pode aumentar cinco vezes em relação a 2018, principalmente pela tecnologia usada para dividir a água em moléculas de hidrogênio e oxigênio por meio do uso de eletricidade: a membrana de troca de prótons. Enquanto o escândio está disponível de forma relativamente ampla, o irídio é muito mais raro: 80-85 por cento é atualmente produzido na África do Sul, a maior parte do restante – na Rússia. No entanto, a necessidade adicional de minerais críticos do hidrogênio é limitada em comparação com outras tecnologias.

Figura 4: Demanda mineral por tecnologias de energia limpa por cenário



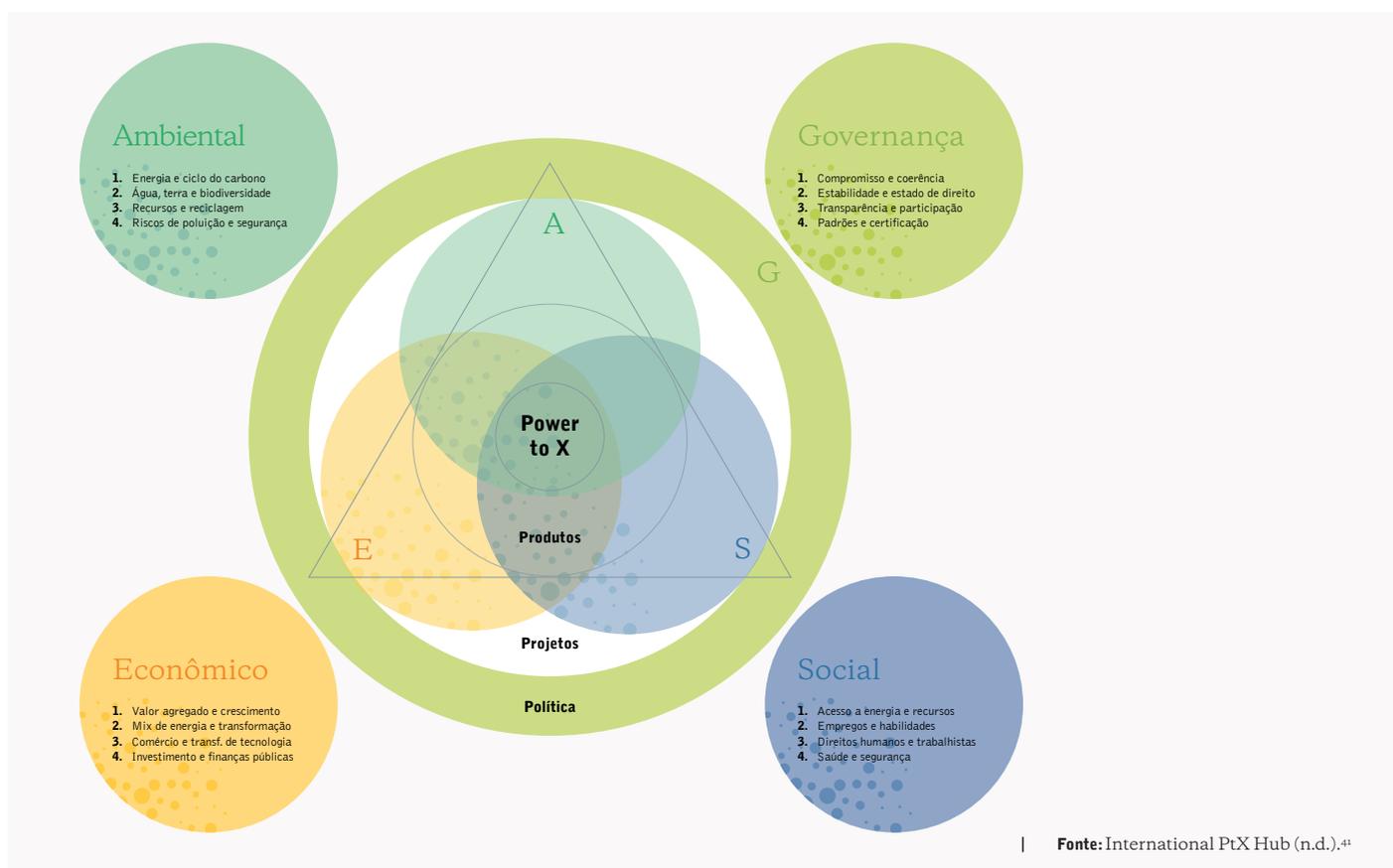
3.3 A necessidade de políticas e critérios socioecológicos

Para mitigar esses riscos e garantir uma abordagem positiva para a produção e comércio emergentes de hidrogênio, os participantes do workshop desenvolveram recomendações que se referem amplamente a aspectos ambientais e sociais e incentivam o hidrogênio “verde” em detrimento de “outras cores”. No nível mais alto, o hidrogênio produzido para exportação precisa ser incorporado à estratégia geral de um país, inclusive respeitando as metas do Acordo de Paris, bem

como reconhecendo as metas de desenvolvimento e energia de um país, como acelerar o acesso à energia para todos, reduzir a pobreza energética, e promover a transição para uma economia 100% baseada em energia renovável. Essas estratégias precisam incluir a proteção dos ecossistemas, a geração de prosperidade econômica, a promoção da inclusão e coesão social, o respeito aos direitos humanos e sociais, a garantia da aceitação pública e a participação de várias partes interessadas e a promoção da boa governança e da transparência. Em resumo, para que o comércio de hidrogênio seja útil para todos, concluiu-se em consultas às partes interessadas que ele precisa ser incorporado ao processo geral de transição energética.

O “ponto ideal” para o hidrogênio verde é, portanto, quando ele engloba todos esses fatores, conforme ilustrado na figura a seguir:

Figura 5: Projeção do mapa comercial e volumes de hidrogênio verde para 2050



32. Uma oportunidade adicional é a produção de fertilizantes “verdes” sem combustíveis fósseis. No entanto, isso deve ser apenas para apoiar a redução geral no uso de tais fertilizantes sintéticos na agricultura industrial e encontrar versões mais ecológicas. Cf. Facundo Calvo (2022), Why We Must Rethink the Use of Nitrogen Fertilizers, <https://www.iisd.org/articles/analysis/tackling-hunger-nitrogen-fertilizers>.

33. Power Shift Africa (2022), Civil Society Perspectives on Green Hydrogen Production and Power-to-X Products in Africa, <https://www.powershiftafrica.org/publications/civil-society-perspectives-on-green-hydrogen-production-and-power-to-x-products-in-africa>.

34. UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2022), Atmospheric Implications of Increased Hydrogen Use, <https://www.gov.uk/government/publications/atmospheric-implications-of-increased-hydrogen-use>.

35. P. Wolfram, P. Kyle, X. Zhang et al. (2022), Using Ammonia As a Shipping Fuel Could Disturb the Nitrogen Cycle, *Nat Energy*, <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01124-4>.

36. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/mineral-requirements-for-clean-energy-transitions>

37. IEA (n.d.), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/executive-summary>.

38. Initiative for Responsible Mining Assurance (n.d.), The Standard for Responsible Mining, <https://responsiblemining.net/what-we-do/standard/>.

39. Deutsche Rohstoffagentur (2022), Mineralische Rohstoffe für die Wasserelektrolyse, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Themenheft-01-22.pdf?jsessionid=CEf4AF826D5E40112BEA2B4A96D3ED40.1_cid331?blob=publicationFile&v=2.

40. P. 272 <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>

41. International PtX Hub (n.d.), PtX Sustainability Dimensions and Concerns (Scoping Paper), <https://ptx-hub.org/ptx-sustainability/>.



Hidrogênio Verde:
Critérios-chave de sucesso para
o comércio e produção sustentáveis

UMA SÍNTESE BASEADA EM CONSULTAS NA ÁFRICA E NA AMÉRICA LATINA



Principais recomendações

Este capítulo resume as recomendações do documento de políticas *Caminhos para um mercado global de hidrogênio verde e sustentável*,⁴² desenvolvido em nome da Fundação Heinrich Böll e Brot für die Welt pelo Ecologic Institute. Foi discutido e comentado em um workshop internacional com a participação de um grupo de especialistas e partes interessadas. Também estão incluídas as propostas de políticas resultantes dos workshops realizados no país durante este projeto. Essas políticas, padrões e medidas são receitas para o desenvolvimento bem-sucedido da produção e comércio de hidrogênio verde e sustentável.

Embora grande parte do comércio emergente de hidrogênio provavelmente seja regional no início devido aos custos de transporte – a AIER considera que 75% da demanda de hidrogênio em 2050 será produzida e usada local/regionalmente – um mercado transnacional de hidrogênio também deve surgir.⁴³

Para obter redução de custos e escala rápida, o mercado de hidrogênio precisará, em últi-

ma análise, ser organizado como um mercado competitivo – com fornecedores competindo em um único mercado global com base em seus custos marginais de produção, favorecendo os fornecedores que podem produzir pelo menor custo – desde que os critérios ambientais e de sustentabilidade sejam cumpridos (e possam ser documentados e rastreados). Uma das armadilhas é, portanto, garantir que os produtores *não* concorram com a rigidez dos padrões de sustentabilidade (ou com o rigor com que são cumpridos), o que poderia levar a uma “corrida para o fundo do poço” em que padrões mais frouxos/menos bem aplicados têm uma vantagem – mas *apenas* com base em seus custos de produção, depois de terem cumprido os padrões mínimos acordados.⁴⁴

As políticas e os padrões necessários para alcançar um comércio sustentável de hidrogênio devem, portanto, ser definidos ativamente, e os países podem desenvolver políticas uni, bi, pluri ou multilaterais para garantir a sustentabilidade.



Principais recomendações continuação

Como um princípio abrangente, as políticas precisam ser moldadas de forma que os países produtores se beneficiem de toda a cadeia de valor da produção e comércio de hidrogênio verde. O hidrogênio deve ser usado apenas para setores que não podem ser eletrificados – geralmente há maior eficiência, custos mais baixos e emissões mais baixas para a eletrificação baseada em energia renovável do que para o hidrogênio. As estratégias de exportação, portanto, precisam considerar cuidadosamente o equilíbrio entre a produção de hidrogênio e energia renovável para uso local e a criação de receita externa a partir das exportações. Paralelamente, o que dá ao hidrogênio verde e sustentável seu valor comercial é sua propriedade verde – o fato de ter sido produzido (quase) livre de carbono. Essa propriedade precisa ser monitorada e verificada de forma transparente e confiável, de acordo com critérios estabelecidos e acordados internacionalmente, que precisam de regulamentação e fiscalização. À medida que os países e suas indústrias – incluindo os setores para os quais as reduções de emissões são mais difíceis de alcançar – fazem a transição para o uso de hidrogênio verde para reduzir o teor de carbono de seus produtos, isso também afetará positivamente as políticas de tributação relacionadas ao carbono, reduzindo assim as possíveis barreiras à importação, como o planejado Mecanismo de Ajuste de Carbono na fronteira da União Europeia (UE).

O mercado global de hidrogênio verde e seus derivados está apenas começando a surgir. Cooperação internacional e regulamentação consistentes são necessárias para o desenvolvimento de um comércio internacional sustentável de hidrogênio verde. Para estabelecer esse mercado e garantir seu funcionamento adequado, vários elementos devem estar em vigor:

- Um **sistema de rastreamento e contabilidade** para o hidrogênio verde e seus derivados para documentar a propriedade verde do hidrogênio comercializado. Isso pode assumir a forma de um registro de hidrogênio que documenta a origem do hidrogênio comercializado (ou derivados) e suas emissões incorporadas.⁴⁵
 - **Padrões para hidrogênio verde e sustentável**, incluindo **mecanismos de supervisão e reclamação**, para garantir a conformidade com os padrões e especificar soluções em caso de descumprimento. Recomendações voltadas especificamente para preocupações ambientais e sociais podem ser encontradas nas Seções 6.1 e 6.2.
 - **Arranjos para negociação real** (qual mercadoria está sendo negociada em qual plataforma sob quais condições; quais produtos financeiros se aplicam; como as negociações são compensadas).
 - **Garantias/proteções aos investidores** quanto às condições em que poderão comercializar o hidrogênio produzido nos projetos de investimento previstos.
- Esses elementos podem ser organizados em diferentes níveis:
- Critérios e padrões sociais e ambientais podem ser assegurados em **nível nacional** (ou regional/local);
 - Em **nível bilateral**, cooperação entre dois países (tipicamente um fornecedor em potencial e um importador em potencial);
 - A **nível plurilateral**, acordado entre um grupo limitado de países afins com interesses comuns, por exemplo a UE (possivelmente com parceiros), ou iniciativas fora da órbita G7/G20, como a Parceria Internacional para o hidrogênio e Células de Combustível na Economia;
 - Como uma iniciativa **multilateral** que é, em princípio, aberta a qualquer país e aplicável a qualquer país que seja membro da iniciativa.

4.1

Recomendações Ambientais Específicas

- Exigências de monitoramento e mecanismos de controle para evitar vazamentos de oleodutos, além de penalidades severas, caso estes ocorram, para garantir um impedimento à supervisão negligente, bem como um claro compromisso de excluir quaisquer importações de hidrogênio que envolvam grandes vazamentos. Também pode ser recomendável não comercializar o hidrogênio na forma gasosa, mas sim como um derivado.
- Uso de água e dessalinização: minimizar o uso de água e tornar a dessalinização segura e limpa. Projetos de hidrogênio verde não devem comprometer o abastecimento de água local. Se novas fontes de água (por exemplo, usinas de dessalinização) forem desenvolvidas para produção de hidrogênio ou processamento adicional, elas também devem contribuir para reduzir o estresse hídrico e aumentar a disponibilidade de água para a população local na região de produção como um todo. No caso de usinas de dessalinização, elas devem ser acompanhadas por uma avaliação de impactos e medidas que assegurem que não ocorram impactos negativos – por exemplo, a salmoura resultante deve ser minimizada e adequadamente diluída e difundida. Isso requer o rastreamento do uso da água em toda a cadeia de produção do hidrogênio verde.
- Licenciamento e estudos de impacto ambiental: o licenciamento deve ser obrigatório para todos os projetos, com a produção de Estudos e relatórios Estratégicos Específicos de Impacto Ambiental

(que permitem o planejamento e gestão adequados de um grande número de projetos em toda a região ou país) e Específicos de Impacto Ambiental. Inclui a avaliação dos impactos potenciais na preservação da biodiversidade e sumidouros de carbono de projetos e comprovação de locais ideais para instalações. Na evolução do processo de licenciamento e determinação de impactos, agentes governamentais e empresas privadas devem zelar pela organização e respeito das audiências públicas.

- Ordenamento do território – garantir localizações ideais para as instalações: embora o hidrogênio verde tenha baixas emissões de GEE, pode gerar impactos significativos nos territórios e nas comunidades. Muitos projetos propostos são de grande escala, a fim de gerar eletricidade a baixo custo. Usinas solares ou eólicas, demanda de água ou usinas de dessalinização, transporte, armazenamento e infraestrutura portuária gerarão diferentes tipos de impactos e riscos. Sem um planejamento adequado do uso da terra, os projetos podem acabar tendo efeitos negativos nas comunidades e ecossistemas vizinhos. A produção de hidrogênio deve ser excluída em certas áreas vulneráveis, como hotspots de biodiversidade ou onde não pode haver uso conjunto com terras aráveis. Atlas solares e eólicos devem ser atualizados para garantir o cumprimento de políticas e leis ambientais, áreas impor-

tantes para a proteção de mananciais, biodiversidade, zonas de produção agroecológica e áreas de pequenas propriedades. Como parte de uma estratégia nacional de hidrogênio, um zoneamento abrangente deve ser concluído para definir as áreas prioritárias para o desenvolvimento de energias renováveis em grande escala para a produção de hidrogênio. Antes disso, deve haver um mapeamento do uso tradicional da terra (incluindo pastagem temporária), patrimônio cultural indígena e ecossistemas de alto valor de biodiversidade. Além disso, a construção das usinas em áreas já classificadas para uso industrial deve ser priorizada para evitar conflitos com as comunidades.

- Uso de recursos: painéis solares, turbinas eólicas e eletrolisadores usam materiais, como terras raras, que envolvem mineração. As indústrias extrativas têm sido repetidamente associadas à degradação ambiental e às violações dos direitos humanos. Portanto, a produção de hidrogênio deve demonstrar dependência de materiais obtidos de acordo com os padrões ambientais e de direitos humanos para atividades extrativas. Por exemplo, um requisito poderia ser que fontes de energia renovável e hidrolisadores incluíssem materiais de países que são signatários da Iniciativa de Transparência das Indústrias Extrativas.⁴⁶ A reciclagem de materiais usados precisa ser aumentada em uma abordagem de economia circular.

Figura 6: Projeção de instalação solar na Namíbia para um projeto de hidrogênio



Fonte: Hyphen Hydrogen Energy (n.d.).⁴⁷



Principais recomendações continuação

4.2

Recomendações sociais específicas

- **Para países importadores**, exigir suas estruturas de aquisição e certificação para hidrogênio verde e incluir direitos humanos internacionais, bem como padrões sociais e ambientais.
- **Governança e participação cidadã – democratizando o debate sobre energia:** fortalecer a disseminação de informações sobre energia em linguagem simples e acessível que possibilite que comunidades, movimentos sociais e sociedade civil acompanhem e intervenham sobre o tema, entendam a necessidade de uma transição energética justa e sustentável e participem do debate político. No caso de projetos previstos, promover consultas públicas a comunidades locais e organizações da sociedade civil. Estas devem fornecer uma contribuição significativa para o processo de tomada de decisão e não ser meros exercícios de “marcar a caixa”, e devem ocorrer regularmente durante o planejamento, implementação e monitoramento de projetos. A participação efetiva requer investir na capacitação das partes interessadas locais, estabelecendo mecanismos transparentes de reclamação e criando formatos nos quais os cidadãos possam participar ativamente na tomada de decisões. Esse envolvimento de várias partes interessadas e a participação da sociedade civil podem potencialmente garantir a adesão e apropriação e, portanto, também devem ser do interesse dos desenvolvedores de projetos.
- **Promover o envolvimento da comunidade** local desde a concepção do projeto e gerar incentivos que promovam o desenvolvimento local e distribuído, principalmente por meio de pequenos empreendimentos. Considerar o uso da terra e da água, bem como os direitos ancestrais de propriedade das comunidades indígenas na concepção dos projetos. Assegurar que as comunidades usuárias de terra tenham apoio legal para negociar com empresas de energia e acessar mediação independente em caso de conflito. Também deve ser assegurado que dentro das comunidades locais todos tenham voz, por exemplo, que os homens não decidam pelas mulheres (diferenças/discriminação relacionadas ao gênero).
- **CLPI e protocolos de consulta:** no caso de projetos que ocorram em comunidades indígenas e tradicionais diretamente afetadas, deve ser realizada consulta prévia, conforme previsto na Convenção 169 da OIT. As comunidades locais devem ter o direito de recusar projetos de energia desfavoráveis em suas terras.
- Promover usos sinérgicos da terra para evitar conflitos de uso, por exemplo, combinações de usos solares e agrícolas e pastagens do mesmo território (agro-fotovoltaicos).

- **Criar segurança no trabalho e treinamento** por meio de planejamento inclusivo para a infraestrutura de hidrogênio, garantindo assim o treinamento de habilidades para as comunidades locais, de modo que sejam qualificadas para preencher os empregos criados pela produção de hidrogênio em sua região. Garantir condições de trabalho adequadas e estáveis.
- **Promover as melhores novas tecnologias:** a indústria eólica e solar tem visto grandes avanços tecnológicos, incluindo o aumento da potência das turbinas eólicas e redução de ruído. Para a energia solar, o conceito agro-fotovoltaico tem avançado em vários países, permitindo a produção conjunta de energia e alimentos. Esses avanços precisam ser levados adiante para compatibilizar a produção de hidrogênio para as populações locais. A pesquisa também pode promover o desenvolvimento de capacidades e habilidades na região (papel das universidades regionais).

Box 4

Adicionalidade

Assegurar que projetos de hidrogênio contribuam para o acesso à energia e superação da pobreza energética, disponibilizando partes da geração adicional de energia renovável/hidrogênio para a população local. A produção de hidrogênio verde deve se concentrar na implantação e produção de energia renovável e nos usos locais do hidrogênio, não apenas nas exportações. Isso pode ser resolvido se a energia renovável para produção de hidrogênio for “adicional”, ou seja, não instalada na ausência da produção de hidrogênio verde. A adicionalidade é necessária para garantir que o desenvolvimento do setor não prejudique a transição energética como um todo. Os requisitos de adicionalidade devem ser obrigatórios para garantir que o crescimento do mercado de hidrogênio verde leve ao crescimento do setor de energia renovável e tenha impacto positivo na transição energética. Contudo, não é fácil garantir a adicionalidade além de monitorar as fontes, distribuição e acesso de energia, além de reduções gerais na pobreza energética nos países produtores. A princípio, a adicionalidade estaria assegurada se apenas pudesse ser comercializado o hidrogênio produzido a partir de fontes não conectadas à rede elétrica do país. No entanto, tais soluções insulares seriam economicamente caras e contrariariam o objetivo de que a produção de hidrogênio deveria servir à transformação do sistema energético nacional. Outra opção poderia ser a conexão à rede se a intensidade de carbono da eletricidade (ou seja, emissões por quilowatt-hora – kWh) estiver abaixo de um determinado limite. Isso pode fornecer um incentivo para os países descarbonizarem e se tornarem elegíveis para exportar hidrogênio. Além disso, a intensidade de carbono necessária pode ser ajustada dinamicamente para garantir que esse incentivo seja mantido.⁴⁸

4.3

Políticas e padrões nacionais

Políticas nacionais apropriadas que operacionalizem os critérios e padrões mencionados são uma pré-condição para um comércio de hidrogênio verde bem-sucedido e sustentável. Muitas políticas relacionadas à vantagem do verde em relação a outras fontes coloridas de hidrogênio, bem como à garantia de critérios sociais e ambientais (cf. também as Seções 4.1 e 4.2 acima) podem ser criadas em nível nacional, embora haja um acordo internacional sobre quais devem ser os critérios – e adesão a tais padrões e políticas – o que seria obviamente útil para evitar um mercado complicado ou fragmentado.

- Desenvolver e orientar **planos e estratégias energéticas nacionais e regionais**, integrando-lhes à estratégia do hidrogênio verde do país, congruente com os objetivos climáticos e de desenvolvimento do país. Certificar-se de que todos os ministérios relevantes (meio ambiente, desenvolvimento, etc.) sejam incluídos no planejamento, não apenas energia ou ministérios econômicos. A divulgação de roteiros e estratégias nacionais é um passo necessário para fornecer uma visão de longo prazo para o hidrogênio. Isso inclui definir a instalação de plantas centralizadas de produção de hidrogênio verde (mais fácil para exportação) com distribuição posterior ou a produção em locais diferentes para diminuir o volume distribuído após a produção (melhor no caso de uso principalmente doméstico). Isso é relevante para o processo de planejamento, principalmente quando se trata de infraestrutura.
 - Desenvolver uma **lei abrangente dedicada ao hidrogênio** que incentive o desenvolvimento do hidrogênio verde e garanta mecanismos de participação social desde a concepção inicial do projeto. Tornar a estratégia do hidrogênio transparente e aceitável envolvendo diferentes partes interessadas (comunidades, pesquisadores independentes, sociedade civil) em sua elaboração aumentará a aceitação e adesão. Além disso, mesmo que os objetivos imediatos sejam a exportação, é preciso garantir benefícios sociais e econômicos no país onde o hidrogênio verde é produzido, incluindo o desenvolvimento de tecnologia para a produção de hidrogênio verde, cadeias de valor para fabricação, instalação e manutenção de equipamentos e sistemas de produção etc.
 - **Gerar e/ou adaptar marcos legislativos e regulatórios** que criem condições para o desenvolvimento e ampliação do mercado e que sejam claros, precisos e com prazos que proporcionem previsibilidade aos investidores e à indústria. Promover uma gestão descentralizada que permita transparência e eficiência por meio do uso de redes *blockchain*.
- Até recentemente, o hidrogênio verde era significativamente mais caro do que o hidrogênio baseado em combustível fóssil. O alto preço do gás resultante da invasão russa da Ucrânia mudou significativamente a atratividade relativa do hidrogênio verde em relação ao hidrogênio de base fóssil. Especialistas acreditam que a paridade de custos será alcançada em algumas regiões do mundo até 2030 (presumivelmente antes, se os altos preços dos combustíveis fósseis e nucleares persistirem), tornando o hidrogênio verde cada vez mais atraente. Para incentivar rapidamente o hidrogênio verde, o fator mais importante é **reduzir a diferença de preço** para o hidrogênio não verde:
 - Criar **instrumentos financeiros que incentivem a incorporação do hidrogênio verde** nos sistemas de energia e, por sua vez, desencorajar subsídios a combustíveis fósseis, por exemplo, redirecionar subsídios atualmente recebidos pelos combustíveis fósseis para favorecer e impulsionar a transição energética, incluindo o desenvolvimento do hidrogênio verde.
 - Criar **rótulos** para hidrogênio importado e derivados que atendam aos padrões (mais elevados).
 - Indiretamente, o hidrogênio verde também pode se beneficiar de medidas de **apoio às energias renováveis**. Por exemplo, apenas o hidrogênio que atende aos requisitos estabelecidos na Diretiva de Energia Renovável da UE pode ser contabilizado para o alcance das metas ali especificadas. Por esta razão, o apoio financeiro, ou seja, na forma de receita de esquemas de cotas negociáveis, é restrito ao hidrogênio que atenda a esses critérios – independentemente de ser importado ou produzido na UE.
 - Um **preço do carbono** para incentivar o hidrogênio verde também pode ser direcionado a nível doméstico para tornar o hidrogênio competitivo com os combustíveis convencionais onde, de outra forma, esta não seja uma opção econômica.
 - Estabelecer um **preço mínimo** ao produtor para dar estabilidade aos empreendimentos por um período razoável.
 - Promover **empréstimos e títulos verdes** para alavancar investimentos em infraestrutura inicial.
 - **Incentivar o pagamento direcionado** na forma de um contrato por diferença que cubra a disparidade de preço entre o hidrogênio verde e o convencional, combinando as fontes de demanda e de oferta de hidrogênio verde. Isso garante um preço que permite aos investidores investir, mantendo-se competitivo com o hidrogênio convencional.



Principais recomendações continuação

- **Proibir alternativas fósseis:** isso inclui restrições de acesso ao mercado para hidrogênio e produtos derivados que não cumprem os padrões, por exemplo, no caso da União Europeia, proibindo importações com base na legislação ou diretrizes da cadeia de suprimentos da UE. Isso também pode ter efeito como o estado final dos padrões dinâmicos com padrões crescentes de ambição/aperto. Preocupações são comumente levantadas sobre a falta de compatibilidade com as regras da Organização Mundial do Comércio, que estabelecem requisitos exigentes para impor barreiras com base no processo de produção de um produto. Até que ponto essas preocupações são bem fundamentadas, no entanto, ainda precisa ser investigado.⁴⁹ Alternativamente, a proibição de importação também pode ser implementada como uma obrigação de eliminação gradual (doméstica) para hidrogênio não verde e derivados (sejam importados ou produzidos internamente), proibindo sua venda e/ou uso após uma data de eliminação progressiva anunciada.
- **Criar/garantir demanda:** cotas e obrigações ou requisitos de mistura para o uso do hidrogênio verde garantem uma demanda fixa e, portanto, maior segurança para os fornecedores. Compras públicas (por exemplo, aço verde em projetos de construção pública) com a intenção de criar um mercado líder para hidrogênio verde e derivados também podem ser incluídas nesta categoria.
- Avaliar a necessidade de **legislação específica para abordar projetos de hidrogênio** (por exemplo, normas de segurança, salvaguardas ambientais) para adotar esquemas de certificação de sustentabilidade e renováveis para a produção de hidrogênio verde. Estabelecer quadros jurídicos que definam os parâmetros de participação da comunidade local e os benefícios (monetários ou não) das instalações de energia renovável.
- Desde o início do projeto de planejamento, **envolver** os governos regionais/locais nos lugares onde se planeja instalar usinas de hidrogênio verde e promover parcerias público-privadas. A promoção fiscal e as incubadoras de empresas devem ser desenvolvidas com o objetivo de promover o envolvimento dos atores locais na transição energética. Paralelamente, explorar também alternativas ao paradigma da parceria público-privada, incentivando e facilitando o financiamento de projetos cooperativos de energia e evitando a concorrência desigual entre grandes empresas e também pequenas e médias empresas.
- Antecipar e prevenir os riscos ecológicos através do **estabelecimento de estudos obrigatórios de impacto ambiental** em paralelo com o desenvolvimento da estratégia do hidrogênio.

Desenvolver programas para:

- Facilitar a transferência de conhecimento e assegurar a formação e educação dos candidatos a emprego, tanto nas pequenas como nas médias empresas.
- Assegurar o acesso à informação e à educação em geral para a rápida adoção de novas tecnologias e a incorporação da disciplina nos programas de ensino superior.
- Aprofundamento da P&D sobre hidrogênio verde em organizações científicas.
- Incluir o país exportador em iniciativas globais e cooperação internacional em hidrogênio verde.

4.4 Políticas bilaterais

As alianças entre países fornecedores e compradores, além do setor privado e da sociedade civil, podem desempenhar um papel importante para reduzir o risco da transição para o hidrogênio verde para ambos os lados: elas podem abrir caminho para contratos de longo prazo, incluindo garantias de preço, apoio ao investimento (e proteção ao investimento), transferência de tecnologia ou assistência financeira direta. Eles podem garantir que os critérios para o hidrogênio comercializado sejam formulados de maneira que estejam em conformidade com as prioridades e capacidades de desenvolvimento dos países produtores e alinhados com suas estratégias nacionais para a transição energética, bem como incentivar os padrões sociais e ambientais.

O fortalecimento de parcerias também pode envolver a combinação de parcerias bilaterais existentes para formar iniciativas “minilaterais” combinando diferentes parceiros, por exemplo, uma cooperação da Alemanha com seus vizinhos do Benelux, que já estão intimamente conectados por meio de sua infraestrutura de gás fortemente conectada. Trazer mais parceiros permite reunir recursos e, ao colocar a cooperação em uma base mais ampla, pode ajudar a aumentar (transformar) a ambição: a Parceria de Transição Energética Justa entre vários países do G20⁵⁰ e a África do Sul pode servir como um exemplo a esse respeito, que poderia ser aplicado também a outros países. Da mesma forma, os instrumentos de apoio existentes, como a iniciativa alemã H₂Global, podem ser estendidos para incluir também outros países (da UE) – coordenando e consolidando a demanda – e usar a alavancagem econômica resultante para promover o comércio verde e sustentável.

Há também desvantagens nos acordos bilaterais. A proliferação de acordos bilaterais pode levar a uma proliferação de normas, reduzindo assim a transparência e criando o risco de escolha seletiva ou “corrida

“A cooperação entre os países é essencial para garantir que padrões e critérios comuns ganhem ampla aceitação – mas esses padrões precisam ser definidos em alto nível para garantir a verdadeira sustentabilidade.”

para baixo” – se um país considera as normas propostas por seu parceiro comercial muito rígidas, o hidrogênio será vendido em outro lugar. Além disso, uma proliferação de padrões divergentes criaria problemas em cadeias de valor integradas internacionalmente, por exemplo, se o hidrogênio verde proveniente de diferentes países for usado para produzir aço de baixo carbono, que é então vendido (e comercializado como baixo carbono). Se o hidrogênio usado na fabricação de aço vier em diferentes “tons” de verde, isso significaria que diferentes lotes de aço produzidos teriam pegadas de carbono divergentes, tornando ainda mais difícil rastreá-los, rotulá-los e comercializá-los. Finalmente, acordos bilaterais podem levar a uma fragmentação do mercado – padrões diferentes sugeririam preços divergentes para o hidrogênio verde e seus derivados. Mercados menores incorreriam em maior volatilidade de preços e impediriam a diversificação, de modo que os importadores continuariam dependentes de produtores que atendessem aos padrões acordados e vice-versa.

As políticas bilaterais podem incluir:

- **Parcerias de energia, incluindo acordos contratuais de longo prazo** entre países fornecedores e compradores, como forma de reduzir o risco de investimentos para ambos os lados, possivelmente apoiados por garantias públicas para investidores, créditos à exportação ou instrumentos similares.
- **Subsídios ao investimento/parcerias público-privadas e empresas públicas estratégicas:** isso incluiria apoio público para investimentos em infraestrutura e logística, possivelmente na forma de parcerias público-privadas ou *joint ventures*, incluindo agências de financiamento dos países compradores e fornecedores também como arranjos de compartilhamento de riscos entre investidores/financiadores públicos e privados. As empresas públicas podem desempenhar um papel importante no estabelecimento de uma infraestrutura de hidrogênio verde e sustentar acordos bilaterais com investimentos concretos.

Figura 7: Ilustração de um projeto planejado de hidrogênio da HYPHEN, na Namíbia



A Hyphen é uma empresa namibiana de desenvolvimento de hidrogênio verde, formada especificamente para desenvolver projetos de hidrogênio verde na Namíbia para abastecimento internacional, regional e doméstico. A área total prevista para a produção de hidrogênio é de 25.000 km², dos quais 4.000km² já foram atribuídos à Hyphen através de um edital do governo da Namíbia.

| Fonte: Hyphen Hydrogen Energy (2022).⁵¹



Principais recomendações continuação

4.5

Plurilateral: uma iniciativa plurilateral poderia ajudar a promover o comércio de hidrogênio verde e sustentável?

Uma iniciativa plurilateral sobre hidrogênio verde poderia, por exemplo, levar a UE a agir junto com outros países com ideias semelhantes. Os elementos dessa iniciativa podem incluir um acordo conjunto sobre padrões ambiciosos para hidrogênio verde e sustentável e um sistema conjunto de rastreamento e relatórios para hidrogênio verde e sustentável. Isso também poderia incluir a opção de formar um mercado comum com acesso compartilhado – onde o hidrogênio (e derivados) reconhecido como verde em um mercado também seria considerado como tal pelos outros membros do “Clube”. Isso significaria que o Clube seria construído em torno de um bem comum: acesso ao mercado comum de hidrogênio verde, reconhecimento mútuo de padrões e procedimentos para apurá-los (certificação de hidrogênio verde), bem como protocolos relacionados (por exemplo, mecanismo de reclamação, revisão). No futuro, o Clube também poderá estender suas atividades para aquisições conjuntas ou mecanismos para coordenar a aquisição de hidrogênio verde e sustentável como forma de aumentar a segurança do abastecimento.

4.6

Multilateral: novas iniciativas e instituições para o comércio global de hidrogênio verde

A opção “Clube” descrita acima deve ser inclusiva e visar uma ampla participação – poderia, assim, abrir caminho para um acordo multilateral. Ao mesmo tempo, também existem outras rotas para um acordo multilateral sobre parâmetros essenciais, como um sistema de rastreamento e contabilidade para hidrogênio verde e sustentável e produtos derivados, bem como um acordo sobre padrões globais para hidrogênio verde e sustentável. Estas incluem:

- Estender o mandato de uma iniciativa existente e dotá-la de recursos necessários, por exemplo, a Parceria Internacional para o hidrogênio e as Células de Combustível na Economia. Embora esta iniciativa parta da órbita do G20, ela alcança a participação relativamente ampla de 21 países e da UE – mas carece de membros de algumas regiões importantes do mundo, por exemplo, Oriente Médio e África (além da África do Sul).

- Encarregar uma organização intergovernamental existente de estabelecer os padrões e a infraestrutura para um futuro mercado verde de hidrogênio, como AIE ou AIER.
- A estrutura para um futuro mercado global de hidrogênio verde pode ser estabelecida em um acordo internacional dedicado, análogo aos tratados de recursos que existem para vários produtos agrícolas (cacau, azeite, açúcar, madeira tropical) ou os grupos de estudo para recursos naturais (estanho, cobre), que têm a função de promover a transparência dos mercados e propor normas e procedimentos.

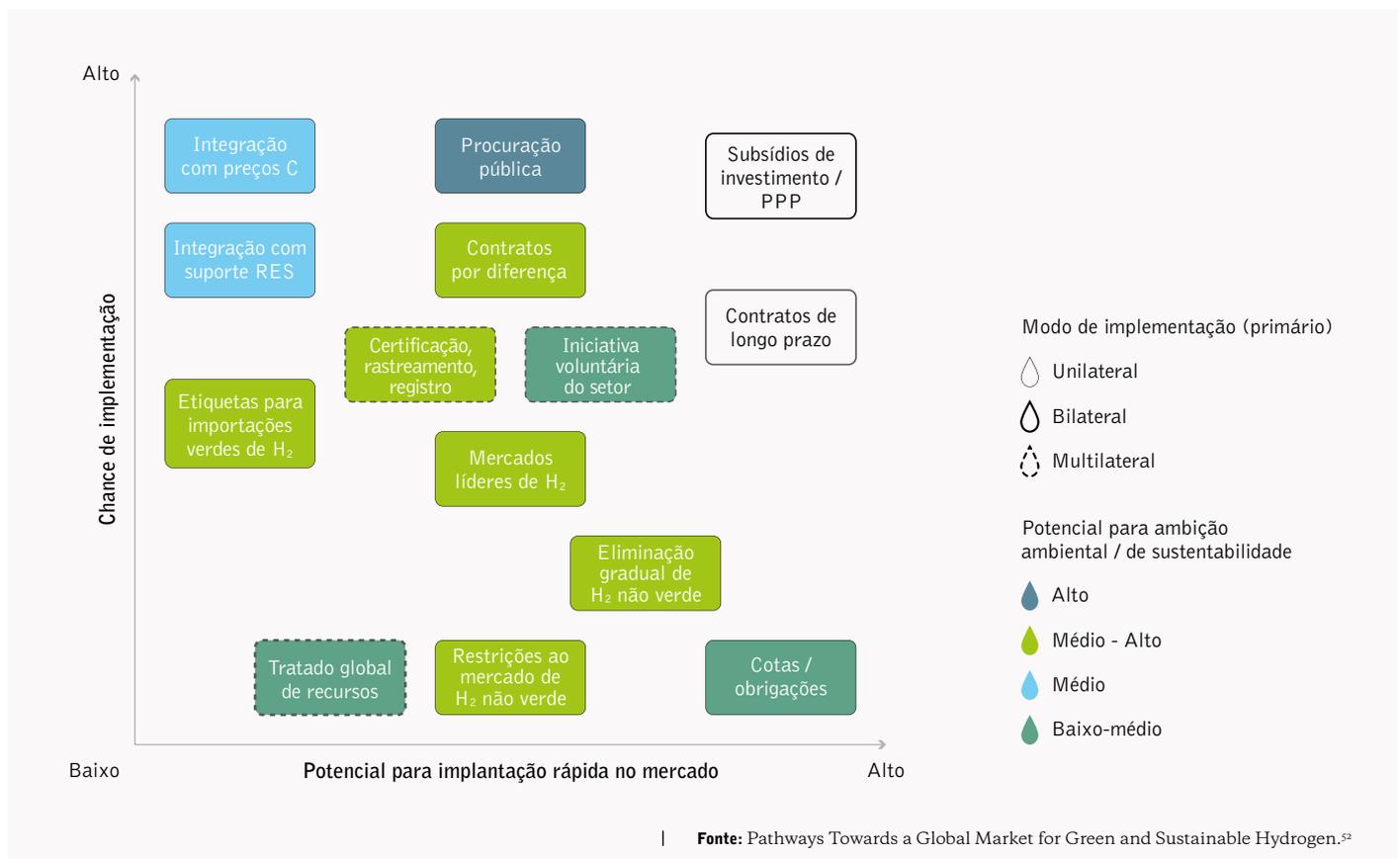
As medidas específicas podem consistir em:

- **Certificação, rastreamento, registro:** sistemas de rastreamento e relatórios para hidrogênio verde e sustentável e derivados (documentados ao longo da cadeia de valor), por exemplo na forma de um registro internacional para verificar a origem do hidrogênio e sua conformidade com as normas aplicáveis – incluindo emissões incorporadas durante o processo de produção.
- **Tratado de recursos globais:** semelhante aos acordos de recursos existentes para muitas commodities e recursos comercializados internacionalmente (cobre, estanho etc.), um tratado de recursos globais sobre hidrogênio verde e sustentável poderia definir propriedades e padrões de ancoragem de hidrogênio verde comercializado e estabelecer elementos processuais (como certificação e rastreamento, conformidade e sanções) e designar instituições de apoio e suas funções.
- **Iniciativa voluntária do setor:** como uma alternativa não vinculativa e mais restrita a um tratado global de recursos, uma iniciativa voluntária composta por reguladores públicos, empresas privadas e sociedade civil poderia concordar com os padrões para o hidrogênio verde e sustentável. Semelhante às iniciativas existentes (Princípios do Equador, Comissão Mundial de Barragens), tal iniciativa poderia estabelecer um padrão de fato.

O que deve ser evitado é um mercado internacional de compensação de carbono para o hidrogênio verde, pois isso não contribuiria para reduzir as emissões de GEE, mas sim para deslocá-los de um lugar para outro.

“Um clube de países de hidrogênio verde poderia ser a vanguarda, estabelecendo critérios e padrões de melhores práticas, lucrando mutuamente com o comércio de hidrogênio verde ambiental e socialmente saudável!”

Figura 8: Nem todos estes instrumentos têm a mesma probabilidade de aprovação:



42. Benjamin Görlach, Michael Jakob, e Ramiro de la Vega (2022), Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> and <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.
43. IRENA (2022), A Quarter of Global Hydrogen Set for Trading by 2050 Tweet, <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2022/Jul/A-Quarter-of-Global-Hydrogen-Set-for-Trading-by-2050>.
44. Benjamin Görlach, Michael Jakob, e Ramiro de la Vega (2022), Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options, p. 14, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> and <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.
45. Uma vez produzido o hidrogênio, não é possível dizer que fonte de energia foi utilizada. Assim, as usinas de hidrogênio conectadas à rede elétrica podem ter sua classificação de hidrogênio verde contestada. É necessário, portanto, estabelecer um sistema de certificação que não encareça ou inviabilize a cadeia produtiva, mas que contenha informações suficientes para consumidores e formuladores de políticas. Isso deve incluir uma definição harmonizada de hidrogênio verde, de modo que “verde” de fato signifique 100% renovável.
46. Benjamin Görlach, Michael Jakob, e Ramiro de la Vega (2022), Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> and <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.
47. Hyphen Hydrogen Energy (n.d.), https://hyphenafrika.com/wp-content/uploads/2022/05/ETAPA-4-ZONA-1-1_Moment-Medium.jpg.
48. Benjamin Görlach, Michael Jakob, e Ramiro de la Vega (2022), Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> and <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.
49. Uma variação dessa abordagem seria incluir as importações de hidrogênio em uma medida de ajuste de carbono na fronteira, como o Mecanismo de Ajuste de Fronteiras de Carbono proposto pela Comissão Europeia como parte de seu pacote “Fit for 55”. Isso representaria uma penalidade nas emissões de carbono geradas na produção de hidrogênio, poderia tornar o hidrogênio cinza não competitivo e ser menos problemático do ponto de vista da lei comercial, pois garante tratamento igual para produtores estrangeiros e domésticos e não discriminação entre diferentes países exportadores. No entanto, como este instrumento aborda apenas as emissões de carbono, não seria capaz de distinguir entre fontes renováveis e outras variedades de hidrogênio menos sustentáveis, mas com baixo teor de carbono (por exemplo, hidrogênio usando captura, utilização e armazenamento de carbono ou hidrogênio usando energia nuclear).
50. Os membros do G20 são: Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Itália, Japão, República da Coreia, México, Rússia, Arábia Saudita, África do Sul, Turquia, Reino Unido, Estados Unidos e a União Europeia. A Espanha também é convidada como convidado permanente.
51. Hyphen Hydrogen Energy (2022), First Gigawatt-scale Green Ammonia Project in Namibia, <https://hyphenafrika.com/wp-content/uploads/2022/05/Hyphen-World-Economic-Forum-Presentation-24-May-2022.pdf>.
52. Benjamin Görlach, Michael Jakob, e Ramiro de la Vega (2022), Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> and <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.



Um oleoduto de hidrogênio
ilustrando a transformação do
setor de energia para longe dos
combustíveis fósseis. © petrmalinak

05

Anexos



Anexos continuação

5.1

Resumos dos países

5.1.1 Argentina

Os participantes argentinos da consulta observaram dois fatores principais que afetam o futuro do hidrogênio verde: 1) a invasão russa da Ucrânia, alterando a demanda e a oferta global de energia; e 2) a situação da dívida externa da Argentina, atualmente em negociação com o Fundo Monetário Internacional. Esses fatores geram dúvidas sobre o futuro da economia argentina e como essa situação pode afetar os investimentos estrangeiros. Há um interesse crescente no desenvolvimento de hidrogênio verde na Argentina. Isso é visto como uma oportunidade para impulsionar a transformação energética em benefício da economia, bem como para novos empregos qualificados e oportunidades de reciclagem, pois as exportações de hidrogênio resultariam em um maior fluxo de receita em divisas.

A maioria dos consultados concorda que a produção de hidrogênio verde deve, numa primeira fase, ser para exportação – desde que haja um plano claro de utilização doméstica economicamente rentável, que também apoie o desenvolvimento das economias regionais e seja ambientalmente saudável. Os participantes também argumentam que o hidrogênio verde promete alternativas de armazenamento que fortalecem o desenvolvimento de energias renováveis intermitentes, além de permitir o aprimoramento de tecnologias de dessalinização e purificação da água do mar. Agentes sociais e ambientais teriam que estar envolvidos no desenvolvimento de projetos de hidrogênio desde o início para evitar e minimizar potenciais conflitos ou efeitos negativos no futuro; isso também facilitaria o investimento e a transferência de conhecimento.

Infelizmente, nenhuma comunidade indígena foi incluída nesta consulta. O projeto de hidrogênio verde mais importante atualmente em execução está na província de Río Negro, onde estão assentadas cerca de 30 comunidades que não fizeram parte de nenhuma consulta ou CLPI. No entanto, a província já aprovou a transferência de mais de 600.000 hectares tradicionalmente ocupados por essas comunidades.⁵³ Segundo uma consultada que conversou sobre o assunto com as comunidades indígenas, ao contrário de outros projetos de extração, o hidrogênio verde está sendo vendido como uma oportunidade para transformação socioecológica. Assim, as comunidades indígenas esperam que os projetos sejam acompanhados de estratégias que transformem profundamente o consumo e a produção de energia em escala global, estratégias que devem incluir seu envolvimento ao longo de todo o processo.

O governo argentino ainda não tem uma estratégia para o hidrogênio. No entanto, existe um documento de 2021, “Rumo a uma estratégia

nacional de hidrogênio 2030”,⁵⁴ com contribuições de vários ministérios, representantes do setor privado, universidades e outros. O documento analisa os potenciais de hidrogênio, a capacidade dos sistemas nacionais de contribuir para seu desenvolvimento e outros fatores. Até o momento, não há informações sobre aspectos relacionados à sustentabilidade no planejamento estratégico nacional de hidrogênio, exceto sobre os requisitos legais adotados pelas províncias onde cada projeto será realizado. Em 2020, um grupo de empresas formou um Consórcio de Desenvolvimento da Economia do Hidrogênio (H₂ar). Em 2006, o Congresso adotou uma Lei de Promoção do Hidrogênio; no entanto, essa lei nunca foi totalmente aplicada e, provavelmente, agora será atualizada. Finalmente, há três iniciativas relacionadas à produção de hidrogênio verde:

- Uma empresa australiana pretende investir US\$8,4 bilhões para produzir hidrogênio verde na província de Río Negro. O projeto está em fase de pré-estudo de viabilidade – atualmente há um conflito de uso da terra com comunidades indígenas.
- O governo provincial de Jujuy está promovendo iniciativas para o desenvolvimento de hidrogênio verde a partir do parque solar Cauchari. O investimento para a primeira fase seria de US\$150 milhões. A província está preparando uma lei correspondente.
- Uma empresa dos EUA anunciou, em maio de 2022, um investimento de US\$500 milhões para produzir hidrogênio verde na província de Tierra del Fuego com o objetivo de exportar, principalmente, para os mercados asiático e europeu.

Consultores veem **oportunidades** com o hidrogênio verde: o país tem potencial para competir no mercado internacional, pois oferece portos de águas profundas, recursos eólicos e infraestrutura de médio porte. A Argentina pode usar sua infraestrutura de gás para o transporte de hidrogênio verde e conta com especialistas treinados e empresas de serviços associadas a esse setor. Também há uma oportunidade de desenvolver mão de obra mais qualificada para melhores empregos e salários. Há uma percepção de que a indústria renovável é moderna e inclusiva e que há oportunidades de fortalecer universidades e centros tecnológicos para o desenvolvimento da indústria. A aceitação social destes projetos é assumida porque as pessoas associam o hidrogênio a um “futuro verde”.

Os consultados também foram questionados sobre as principais **ameaças e barreiras** ao desenvolvimento do hidrogênio verde e identificaram a falta de uma política energética nacional e as dificuldades na obtenção de investimentos iniciais, situações que eles consideram intimamente relacionadas. Ambos se baseiam na falta de confiança no país para atrair investimentos, na cultura de descumprimento das normas e na falta de confiança nos rumos da política energética argentina. As mudanças de governo e as consequentes mudanças nas visões das questões energéticas tornam muito difícil o desenvolvimento de uma indústria a longo prazo que precisa de certeza e estabilidade.

“Cada país participante, dependendo de sua situação geográfica, de desenvolvimento e política, tinha prioridades diferentes – ainda assim, as preocupações com questões ambientais e sociais eram notavelmente semelhantes.”

Também difíceis são as barreiras relativas à falta de flexibilidade do quadro regulamentar e da política energética nacional para se adaptar a um contexto em mudança, bem como a uma indústria de combustíveis fósseis que procurará promover legislação não apenas para o hidrogênio verde, mas também para o hidrogênio cinzento e azul.

Embora o hidrogênio verde provavelmente encontre ampla aceitação social, também há preocupação com a resistência à transformação do sistema de energia em geral, motivada pelo medo da escassez de energia que a transformação poderia desencadear. Embora a maioria dos consultados (94%) considere o hidrogênio verde uma parte viável da transição energética na Argentina, eles não veem sua implementação como viável no curto ou médio prazo.

O uso de água doce para a produção de hidrogênio verde é a preocupação ambiental mais relevante, pois compete com outros usos de água doce. Portanto, os consultados destacaram a importância de não usar água para o hidrogênio em áreas com estresse hídrico. Problemas adicionais de maior preocupação foram, por exemplo, a tecnologia, como sua baixa eficiência; os altos custos de sua produção com água dessalinizada; e, por fim, o desconhecimento sobre os possíveis impactos ao meio ambiente, em função do volume de hidrogênio verde a ser exportado. Finalmente, foi mencionado que, atualmente, as economias de várias províncias argentinas dependem de investimentos contínuos no setor de combustíveis fósseis, o que explica a resistência, pois percebem o hidrogênio verde como um concorrente.

5.1.2 Brasil

O hidrogênio verde pode ser o elo que faltava para a descarbonização da economia, e seu uso poderia evitar a emissão de 75 Mt de CO₂ até 2040 no Brasil.⁵⁵ No entanto, atualmente, o desenvolvimento do hidrogênio parece estar voltado principalmente para a exportação para a Europa. O país publicou recentemente, em agosto, o programa nacional de hidrogênio do Brasil (olhando para todas as fontes de hidrogênio).⁵⁶ No estado do Ceará, até maio de 2022, apenas um dos memorandos de entendimento apresentava a perspectiva de contribuir para a transição energética nacional.⁵⁷ Existem objetivos no plano nacional de renováveis e biocombustíveis 2018–2022 voltados para o hidrogênio, principalmente para uso veicular e fixo na geração de energia e produção de combustível. Por exemplo: redes de P&D em energia de hidrogênio; promover estudos sobre o potencial do hidrogênio; e o encorajamento de projetos de demonstração. Infelizmente, um instituto de pesquisa vinculado ao governo recomendou que todas as fontes de hidrogênio fossem examinadas, não apenas o hidrogênio renovável. O transporte de hidrogênio enfrenta uma série de desafios técnicos e econômicos.

Portanto, exportar hidrogênio na forma gasosa ou líquida não é uma alternativa viável para o Brasil no momento. Para torná-lo econômica-

mente viável, a melhor alternativa seria a conversão do hidrogênio em produtos cujo transporte por longas distâncias tenha soluções comerciais, a exemplo do aço verde, amônia, metanol, nafta e eletrocombustíveis. No entanto, o país possui diversas características que lhe conferem um imenso potencial na produção de hidrogênio verde a baixo custo para uso próprio, bem como para exportação para mercados estrangeiros que possam pagar uma tarifa prêmio verde. Isso poderia gerar empregos nas regiões produtoras e, em algumas áreas, possibilitar a dessalinização de água para usinas de hidrogênio instaladas em regiões com escassez de água potável. O Nordeste, que apresenta a maior pobreza entre as regiões brasileiras, se destaca pelo potencial de geração eólica e solar. Essas oportunidades precisam ser cuidadosamente planejadas, prevendo, por exemplo, a capacitação necessária para que a população local possa ocupar os novos empregos gerados por esses empreendimentos. Além disso, deve haver um processo de discussão dos impactos socioambientais da implantação dessas cadeias produtivas, com o envolvimento ativo das comunidades locais desde a concepção do projeto, para que os investimentos tragam impactos positivos para a sociedade brasileira.

O processo de transição energética no Brasil não deve apenas garantir a proteção do clima, mas também contribuir para transformar a forma como produzimos e consumimos para combater a pobreza energética e o racismo ambiental. Para isso, o diálogo entre o governo e a sociedade civil precisa ser significativamente melhorado. Um exemplo positivo é uma resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Ceará que estabelece os procedimentos, critérios e parâmetros aplicáveis ao licenciamento ambiental – inclusive para empreendimentos de produção de hidrogênio verde.⁵⁸ Isso foi desenvolvido em consulta à sociedade civil. O licenciamento ambiental não deve ser enfraquecido sob o pretexto de que o hidrogênio é verde – o devido processo deve ser seguido.

As três principais oportunidades potenciais de hidrogênio para o Brasil:⁵⁹

1. Uso na redução direta de minério de ferro para produzir ferro esponja no formato HBI (ferro briquetado a quente) para exportação ou para produção doméstica de aço de baixo carbono.
2. Uso em combinação com CO₂ renovável para a produção de nafta verde como substituto sintético na produção de petroquímicos e combustíveis.
3. Uso para a produção de amônia verde como insumo na produção de produtos químicos e fertilizantes ou como transportador de energia para exportação e uso na navegação.

Uma das ameaças identificadas para o desenvolvimento do hidrogênio é a tentativa das empresas de fazer um “greenwashing” de sua marca, apresentando propagandas “sustentáveis” sem de fato promover uma mudança estrutural em suas atividades, que, em muitos casos, ainda emitem quantidades substanciais de GEEs, além de perpetrarem possíveis violação dos direitos humanos.



Anexos continuação

O custo do hidrogênio verde é uma grande barreira. Para aumentar sua competitividade, avançar na precificação do carbono é uma ferramenta crucial. Além disso, a produção descentralizada ou o consumo no local permite contornar os custos de transporte na expansão inicial do hidrogênio.

Existem outros riscos se não forem geridos de forma adequada: a questão da procura de água; uso da terra; mineração insustentável adicional devido à demanda por placas de minério para capturar hidrogênio. Problemas adicionais podem surgir em instalações renováveis de grande escala, como já aconteceu com grandes instalações de energia eólica, por exemplo, especulação imobiliária; impactos na pesca artesanal e na biota marinha (em fazendas offshore; frequente privatização de espaços de uso comum – locais proibidos para pessoas por causa da zona de exclusão de turbinas eólicas; limitação ou impedimento de acesso ao comércio, economia e meios de subsistência locais). Para aliviar a questão do uso da água, poderia ser iniciada a dessalinização em larga escala da água do mar, que tem um custo potencial relativamente baixo (cerca de US\$0,02/kg de hidrogênio verde).⁶⁰ Impactos ambientais na biodiversidade marinha ou na pesca artesanal precisam ser evitados, bem como impactos na agricultura, artesanato e turismo local, por exemplo, em instalações eólicas *offshore* de grande escala. No Ceará, para os 17 novos projetos de energia solar fotovoltaica concentrada em análise em maio de 2022, a supressão total da vegetação pode chegar a quase 11.000 hectares de vegetação nativa única.⁶¹ Instalações eólicas terrestres no mesmo estado têm gerado denúncias sobre violações de direitos das populações costeiras e a degradação e supressão dos ecossistemas de dunas e mangues. Os conflitos socioambientais decorrem da falta de compensação, mitigação e diálogo, bem como da falta de consulta prévia às comunidades locais. Paralelamente, agronegócios já prejudiciais podem continuar suas exportações insustentáveis de soja, lucrando com a amônia produzida com hidrogênio. Por último, mas não menos importante, as grandes instalações de energias renováveis apenas precisam apresentar um Relatório Ambiental Simplificado (RAS) – esta “flexibilidade” dos estudos de impacto e dos processos de licenciamento ambiental para empreendimentos de hidrogênio é um problema que surge muitas vezes de forma antidemocrática e ignorando as perspectivas das comunidades afetadas

Recomendações específicas:

- **Evitar impactos socioambientais é fundamental:** as instalações eólicas (>7.000 aerogeradores, potência total: 21,5 GW) desde 2011 têm causado danos socioambientais, com grandes projetos desrespeitando direitos como o de existir, ir e vir, à saúde, à água, etc. Instalações menores podem diminuir os impactos ambientais, estimular a geração descentralizada e evitar a supressão da

vegetação. Também são importantes as análises independentes das práticas das empresas para atender aos requisitos de transparência e integridade nos contratos de cessão de terras.

- **Fortalecimento dos órgãos reguladores:** nos últimos anos, houve diminuição de recursos e da capacidade dos órgãos e conselhos ambientais da esfera federal para promover fiscalizações e controles. É necessário reinvestir e adequar os recursos humanos e financeiros necessários para que os órgãos tenham autonomia e capacidade de realizar tais fiscalizações e controles.

5.1.3 Chile

Nesta consulta nacional, 62 pessoas participaram no total, por meio de 5 workshops realizados com organizações da sociedade civil e instituições públicas e privadas, e por meio de 15 entrevistas nos níveis nacional e subnacional.

Os participantes da sociedade civil relataram pouco conhecimento sobre o desenvolvimento do hidrogênio verde no Chile. Eles tinham preocupações sobre os potenciais impactos socioambientais e a falta de participação da sociedade civil no planejamento e implementação de projetos de hidrogênio verde até agora. Transversalmente, os participantes destacaram as condições vantajosas e oportunidades do Chile para a produção de hidrogênio verde, o importante papel do hidrogênio verde no processo de descarbonização do país e, sendo esta uma indústria nova, a oportunidade de “fazer as coisas direito”, por exemplo não replicar indústrias extrativistas e criar novas zonas de sacrifício.

Síntese das recomendações mais relevantes:

- **Ordenamento do território e normas ambientais** (especialmente para o uso da água, dessalinização e biodiversidade) devem ser uma parte essencial do desenho e avaliação desta nova indústria. O uso de instrumentos nacionais atuais, como Avaliação Ambiental Estratégica e Planos Regionais de Uso da Terra, é recomendado para esses propósitos.
- **Agentes da sociedade civil local e residentes devem estar envolvidos** no planejamento, implementação e monitoramento do projeto, incluindo o CLPI, segundo acordos internacionais, quando terras indígenas estiverem envolvidas.

Para enfrentar esses desafios, é necessário um modelo de governança robusto que contribua para uma soberania energética que melhore a qualidade de vida dos chilenos. Caso contrário, o hidrogênio verde poderia ter características semelhantes às atividades extrativas existentes (energia e mineração), com consequências sociais e ambientais negativas e possível resistência social a projetos futuros. O desenvolvimento do hidrogênio verde pode ser uma oportunidade para abandonar os

paradigmas da era da energia fóssil e liderar um processo de transição energética justa e democrática. No entanto, para que isso ocorra, o marco institucional e o modelo de governança devem envolver efetivamente os diversos agentes e contribuir para uma soberania energética que melhore a qualidade de vida dos chilenos. A atual matriz energética do Chile está concentrada em sua propriedade, com 63,1% em apenas quatro empresas, que poluem e oferecem pouca participação cidadã.

O Chile publicou sua Estratégia Nacional de Hidrogênio Verde em 2020⁶² com metas altas. Até 2025, o Chile será o primeiro país da América Latina a fazer investimentos em hidrogênio verde. Até 2030 produzirá o hidrogênio verde mais barato do planeta (<US\$1,50/kg), será líder global em exportações de hidrogênio verde e seus derivados (US\$2,5 bilhões por ano) e em hidrogênio verde por eletrólise, com 25 GW. A estratégia também é relevante para a contribuição nacional determinada do Chile: o hidrogênio verde será usado para transporte de carga, aplicações de energia na indústria de mineração e oferecerá utilizações térmicas por meio de dutos. No entanto, a estratégia não é satisfatória: não há propostas concretas para o papel do Estado, nem a mudança que o hidrogênio verde pode trazer internamente, nem qualquer planejamento territorial. Em vez disso, concentra-se em satisfazer as necessidades do Norte Global. Também não houve participação efetiva da sociedade civil ou das comunidades locais na formulação da estratégia. Além disso, a estratégia não atende adequadamente aos padrões de trabalho decente e diálogo social efetivo formulados pela OIT⁶³. Finalmente, a governança proposta carece de equilíbrio entre o governo e o setor privado, por um lado, e a sociedade civil, que desempenha um papel marginal, por outro. O novo governo (de Gabriel Boric) não informou se a estratégia será modificada. Em 31 de maio de 2022, há um projeto piloto em construção para a produção de metanol e gasolina a partir de CO₂ e hidrogênio, com um investimento de US\$38 milhões. Um projeto foi aprovado, mas ainda não está em construção (US\$30 milhões) e, finalmente, outro projeto está em fase de qualificação ambiental.

A Estratégia Nacional do Hidrogênio Verde apresenta essa tecnologia como uma indústria moderna e limpa, incorporando as melhores práticas e o diálogo, e afirma que os projetos gerarão polos locais de investimento, inovação e atividade econômica. Para isso, propõe a definição de padrões para garantir a segurança dos operadores, usuários, público, meio ambiente, bens e infraestrutura, além da criação de mecanismos participativos transparentes entre comunidades e projetos. No entanto, não houve avanços nessa frente, exceto documentos de orientação para a apresentação de projetos de hidrogênio verde ao Serviço de Avaliação Ambiental⁶⁴ e à Superintendência de Eletricidade e Combustíveis,⁶⁵ que visam facilitar os trâmites burocráticos para os investimentos, em vez de garantir a segurança ambiental e padrões sociais.

O hidrogênio verde tem-se posicionado como uma grande oportunidade para alcançar a segurança energética, acelerar o processo de descarbonização e transição energética e cumprir os compromissos climáticos internacionais. Poderia gerar um setor econômico comparável em magnitude com a mineração, com a conseqüente geração de empregos, novas oportunidades de P&D e divisas. Participantes da sociedade civil destacam que ainda há tempo para tomar medidas para prevenir possíveis impactos negativos da produção de hidrogênio verde em larga escala, aplicando princípios de sustentabilidade, ou implementando comissões público-comunitárias que possam acompanhar de perto a instalação da indústria e participar ativamente dos processos de planejamento. Uma nova e adequada estrutura de governança e a criação de novos nós de pesquisa em nível local também foram mencionados como relevantes.

Os projetos de hidrogênio renovável exigirão grandes instalações de energia que acarretam impactos ambientais, como: mudança no uso da terra; ruído; uso potencialmente alto de água; e utilização de recursos. Cientistas chilenos alertaram para o risco de impactos potenciais na região de Magalhães, onde seriam afetadas de 40 a 60 espécies de aves migratórias, dado o número significativo de turbinas eólicas que serão necessárias para o desenvolvimento de projetos de hidrogênio verde⁶⁶. Produzindo 13% do hidrogênio verde do mundo, com 126 GW de energia eólica, implicaria um sacrifício territorial (social e ambiental) de uma área estimada de 13.000 quilômetros quadrados. Para se ter uma ideia, em todo o Chile existe uma capacidade total instalada de energia eólica de aproximadamente 4 GW.⁶⁷

Além disso, pode haver implicações socioeconômicas para a população local que sofre de pobreza energética, incluindo falta de acesso e dificuldade para pagar contas de eletricidade. Também há temores de aumento da precarização e ceticismo sobre os reais benefícios que as regiões receberão com o desenvolvimento dessa indústria.

Dadas as características naturais das moléculas de hidrogênio, os padrões de segurança para armazenamento (pressão) e transporte (*piping*) de hidrogênio são muito mais exigentes do que os de outros combustíveis. Isso torna o armazenamento e transporte de hidrogênio bastante caro em relação ao gás natural.

5.1.4 Colômbia

Embora a Colômbia tenha uma matriz energética baseada principalmente em energia hidrelétrica, a economia colombiana tem sido fortemente dependente da extração de petróleo, gás e carvão para exportação – os hidrocarbonetos contribuíram com 3,3% do produto interno bruto (PIB) em 2021 e representou 40% das exportações totais. Pelo Acordo de Paris, a Colômbia se comprometeu a reduzir 51% de suas emissões até 2030. Uma de suas estratégias é se tornar



Anexos continuação

um dos maiores produtores e exportadores mundiais de hidrogênio, verde e azul. O Ministério de Minas e Energia aposta na produção de hidrogênio verde e em sua promoção como um de seus principais produtos de exportação. Os principais usos do hidrogênio previstos são transporte, geração de energia e indústria. Em termos de transição energética, a Lei 1665 de 2013⁶⁸ introduz elementos sobre fontes alternativas (art. 3º): energias renováveis consideradas limpas por apresentarem níveis de poluição mais baixos em comparação com os combustíveis fósseis. Paralelamente, existem a Lei 1715, de 2014,⁶⁹ que promove o desenvolvimento e uso de “Fontes de Energia Não Convencionais”, principalmente renováveis, e a Lei 2099 de 2021,⁷⁰ que dita, entre outras coisas, disposições relacionadas com a transição energética e a dinamização do mercado de energia. Este último é o mais relevante em termos de hidrogênio, pois classifica as atividades relacionadas ou complementares a esse vetor energético – como seu armazenamento, gerenciamento, operação e manutenção – como de utilidade pública e interesse social.

Dois ministérios são responsáveis pela governança do hidrogênio: o Ministério do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, responsável pelas sanções administrativas ambientais e pela determinação de padrões ambientais; e o Ministério de Minas e Energia, responsável pela política e implementação da Lei 2099. No entanto, a regulamentação fragiliza os padrões ambientais existentes e os compromissos internacionais, ao excluir o Diagnóstico Ambiental de Alternativas para as empresas implantadoras de usinas de hidrogênio.

A lei contempla diversos incentivos fiscais ao fornecimento, como a exclusão do imposto sobre o valor agregado, a eliminação das tarifas de importação de tecnologia, a redução de 50% da carga do imposto de renda e a depreciação acelerada. Um elemento preocupante dessa regulamentação é que permite ao Estado declarar a produção de hidrogênio como de utilidade pública, o que pode significar a possibilidade de imposição de projetos sem a participação robusta de organizações da sociedade civil nas questões ambientais e nos processos decisórios que podem impactar avaliações de seu território, ou permitir a expropriação administrativa de bens naturais, como terras, o que se somaria aos fatores que desencadearam conflitos armados internos na Colômbia, no passado. Uma ameaça é para o povo Wayúu, em La Guajira, na Colômbia, que pode ver o desenvolvimento de usinas de hidrogênio em sua área sem poder contribuir significativamente para o desenvolvimento do projeto ou lucrar com as usinas. A mudança no uso da terra associada a projetos de hidrogênio pode afetar o direito à alimentação, pois significaria a perda de sustento e meios de subsistência para as comunidades Wayúu e, portanto, constituiria uma violação dos direitos humanos.

As consultas à sociedade civil sobre o uso do hidrogênio revelam seu amplo interesse na transição energética, embora o conhecimento e

o acompanhamento dos estudos atuais sejam limitados às energias eólica e solar, dadas as barreiras e assimetrias de poder com que a sociedade civil pode acessar informações oficiais e os planos das empresas do setor. Como resultado, ainda encontramos um profundo desconhecimento, mas muita preocupação por parte das organizações de direitos humanos e ambientais, que exigem medidas para divulgar informações públicas sobre o hidrogênio.

Aliado ao fato de que essa fonte de energia é relativamente nova, fica difícil entender a dimensão dos desafios que temos pela frente em termos de controle sobre a energia produzida, seu destino e os benefícios para as comunidades em cujos territórios as tecnologias necessárias para a transformação do hidrogênio com base em combustíveis fósseis, como o gás, serão utilizadas. Obviamente, não deveria haver desenvolvimento de hidrogênio fóssil, pois isso poderia prolongar a exploração prejudicial de combustíveis fósseis. Mas também é necessária cautela no contexto de possíveis conflitos de terra e garantia de benefícios para as comunidades locais, onde as autoridades colombianas poderiam desenvolver projetos pilotos de hidrogênio verde.

Atualmente, existe uma contradição entre o discurso de descarbonização da matriz energética nacional com energias renováveis, sendo a realidade da maioria dos projetos e iniciativas voltadas para a produção de hidrogênio com potencial de exportação, e posicionar o país como o principal exportador de hidrogênio da América Latina.⁷¹ Isso levanta questões sobre o acesso à energia e os impactos sobre os direitos humanos, especialmente quando a tendência regional parece apontar para o alto custo do uso do hidrogênio verde como fonte secundária de energia no contexto de uma transição energética justa.

5.1.5 Marrocos

O Marrocos adotou um roteiro de hidrogênio verde, em 2021, voltado para uso doméstico e exportação. O trabalho desenvolvido pelo parceiro nacional centrou-se na utilização da água – com um estudo de estimativa da quantidade de água necessária para atingir as metas governamentais de hidrogênio verde – e na consulta a partes interessadas, ao longo de 40 entrevistas e três workshops, para validar os resultados do estudo. O uso da água para diversos fins está aumentando anualmente (quase 90% são usados para a agricultura, infelizmente com perdas de água em cerca de 40 por cento), enquanto a disponibilidade de água por pessoa diminuiu 75% nos últimos 60 anos, com o clima do Marrocos sendo muito seco. Já existem várias instalações de dessalinização que contribuem com 1% do abastecimento de água, estando previstas outras para combater a escassez de água, bem como para a produção de energia. Existem também projetos e planos para purificar a água usada para uso adicional. A meta é que a água dessalinizada e purificada contribua com 15% do consumo total de água até 2035. Marro-

cos tem uma estratégia de água em vigor para proteger seus recursos hídricos e ajudar na transição energética. Existe também uma ambiciosa estratégia energética (desde 2009) que dá prioridade às fontes de energia renováveis, nomeadamente eólica e solar. A meta é que 64% do mix de energia instalada baseada em energia renovável até 2030 seja alcançado principalmente por parcerias público-privadas. Paralelamente, há uma meta climática ambiciosa – reduções incondicionais de GEE de 18,3% e reduções condicionais (dependendo da ajuda externa) de 45,5% até 2030, em comparação com o cenário de referência.

Em relação ao hidrogênio, até agora existem poucas instalações de produção que atendem a diferentes clientes industriais. O Marrocos tinha uma capacidade instalada de 10.968 megawatts no final de 2021 com uma produção de 40 terawatts-hora, dos quais 12,6% são fornecidos por parques eólicos e 4,5 por cento pela produção solar. O país é atualmente um grande importador de amoníaco – 10% do comércio mundial acaba aqui, principalmente para a indústria de fertilizantes. O Marrocos também gasta fundos significativos para importar produtos petrolíferos do exterior. Esta pressão sobre as reservas cambiais foi agravada este ano devido às condições internacionais.

O Marrocos lançou um roteiro de hidrogênio verde em 2021, visando o início da produção em 2028, contando com seu vasto potencial de energia renovável. O roteiro abrange os seguintes pilares principais:

- Tecnologia, P&D e integração da indústria local para atender às necessidades de toda a cadeia de valor
- Produção de hidrogênio verde
- Necessidades de investimento e preparação de infraestrutura para a indústria do hidrogênio verde
- Condições para armazenamento, exportação, e uso de hidrogênio verde

Um acordo de cooperação foi assinado com a Alemanha, em 2020, e os portos de Hamburgo e Tanger Med estão cooperando para facilitar o transporte de hidrogênio.

Inicialmente, o Marrocos produzirá amônia verde para as indústrias locais, principalmente para a produção de fertilizantes, e para exportação. Prevê-se também que o Marrocos possa começar a exportar hidrogênio verde como combustível liquefeito ou gás em 2030. O uso de hidrogênio verde no setor elétrico está previsto para

Tabela 1: Análise comparativa dos requisitos de água para produção de combustível:

Combustível	Estimativa	Mínimo	Máximo
Extração convencional de petróleo	0,29 l/kWh	0,13 l/kWh	0,5 l/kWh
Refinamento de petróleo	0,14 l/kWh	0,09 l/kWh	0,21 l/kWh
Gás natural convencional	0,014 l/kWh	0,004 l/kWh	0,097 l/kWh
Gás de xisto	0,06 l/kWh	0,01 l/kWh	0,79 l/kWh
Hidrogênio verde	0,55 l/kWh	0,27 l/kWh	0,7 l/kWh



Anexos continuação

começar em 2035, como meio de armazenamento, a partir de 2037 no setor de transportes e a partir de 2047 no setor residencial. O país africano visa capturar até 4 por cento do mercado internacional de hidrogênio verde. Alcançar os objetivos da estratégia nacional de hidrogênio verde requer um investimento cumulativo de 90 bilhões de dirhams até 2030 e 760 bilhões até 2050. Os principais objetivos são: reduzir a dependência de importação de energia, que representa quase 10% do PIB do Marrocos; criar valor agregado local, com *spin-offs* positivos para empregos (criação de 12.000 empregos diretos e 60.000 indiretos até 2040) e toda a economia do país; descarbonizar a economia nacional (redução equivalente a 6 Mt CO₂ até 2040). As infraestruturas do sistema energético existente, como os gasodutos, podem também servir economicamente ao hidrogênio.

Para alcançar a estratégia nacional de hidrogênio verde seriam necessários 7,7 milhões de metros cúbicos (m³) de água até 2030 (37,35 milhões de m³ até 2040 e 85,25 milhões m³ até 2050), estando a maior parte do hidrogênio prevista para exportação. A demanda atual de água no Marrocos é de 16,28 bilhões de m³ por ano. A demanda de hidrogênio a ser adicionada a partir de 2030 representa apenas 0,44% da demanda de água potável, industrial e turística (3,27% até 2050). A capacidade planejada de armazenamento de água do Marrocos, de 27,3 bilhões de m³ até 2027 significaria que o volume de água necessário para a produção de hidrogênio verde em 2050 representaria apenas 0,3% da capacidade de armazenamento estabelecida em 2027. Além disso, o Marrocos planeja desenvolver novos projetos de dessalinização com capacidade anual acumulada de 510 milhões de m³ por ano, até 2027. Portanto, o volume de água necessário para a produção de hidrogênio verde, em 2050, representaria apenas 16,7% da capacidade de dessalinização de água, em 2027. No entanto, critérios de sustentabilidade e as opiniões das organizações da sociedade civil e de todas as partes interessadas relevantes devem ser integradas na tomada de decisões relacionadas ao uso de recursos hídricos para a produção de hidrogênio verde. O hidrogênio verde é melhor do que a produção de combustível fóssil, que consome muita água: para cada barril de petróleo produzido, são necessários de seis a oito barris de água e até doze barris para "métodos aprimorados de recuperação de petróleo e gás", como o fraturamento hidráulico.

As partes interessadas consultadas insistiram na necessidade de avaliar cuidadosamente as implantações de projetos de hidrogênio verde em relação ao uso da água e de confiar principalmente na dessalinização para uso da água (com salvaguardas ambientais em relação à salmoura), bem como tecnologias modernas para reduzir significativamente o uso da água; garantir que a produção de hidrogênio crie

empregos locais; e promover infraestrutura e serviços sociais sustentáveis e eficientes. A produção de hidrogênio verde deverá ajudar a descarbonizar a economia nacional, garantir a segurança energética do país, contribuir para a inclusão territorial do país e fortalecer a resiliência social, econômica e ambiental das regiões marroquinas. A redução na produção de combustíveis fósseis poderia liberar recursos hídricos consideráveis para alternativas verdes de hidrogênio.

O Marrocos deve estabelecer um marco regulatório para o setor de hidrogênio verde, salvaguardando um sistema de garantia de origem e abrangendo o abastecimento de água para usinas de eletrólise. O fornecimento de água para eletrólise deve ser claramente regulamentado, organizado, controlado e certificado para não gerar impactos negativos ambientais ou socioeconômicos nas regiões muito áridas do país. O Marrocos também deve impor uma gestão rigorosa dos recursos hídricos com base nas realidades locais e investir na melhoria da infraestrutura hídrica local para reduzir as perdas e a evaporação. O envolvimento de todas as partes interessadas relevantes em projetos de hidrogênio verde desde o início foi mencionado como um fator chave, não apenas em relação à gestão da água, mas também em relação à demanda de terras para projetos de energia renovável, infraestrutura relacionada (estradas, redes elétricas), financiamento, aquisição de tecnologia e criação de oportunidades.

5.1.6 África do Sul

A África do Sul já possui uma economia (cinza) de hidrogênio pequena e ligada a cadeias de valor de combustíveis fósseis. A Sasol produz entre 2 e 3% do abastecimento global de hidrogênio usando instalações de gaseificação de carvão. Em combinação com o carbono, esse hidrogênio é usado para produzir combustíveis líquidos sintéticos usando o processo Fischer-Tropsch. O hidrogênio também é usado pela PetroSA em sua refinaria GTL.

A expansão desse setor tem sido de interesse do governo sul-africano desde pelo menos 2007, quando o governo lançou o Hydrogen South Africa – o programa de P&D de aplicações de hidrogênio de 15 anos. Na época, o interesse primordial não estava na descarbonização ou no hidrogênio verde especificamente, mas sim na identificação e exploração de oportunidades de beneficiamento relacionadas aos metais do grupo da platina (MGP).

Respondendo ao crescente interesse internacional no hidrogênio verde, em 2021, o Departamento de Ciência e Inovação liderou um processo consultivo de várias partes interessadas que resultou no Roteiro da Sociedade de Hidrogênio para a África do Sul.

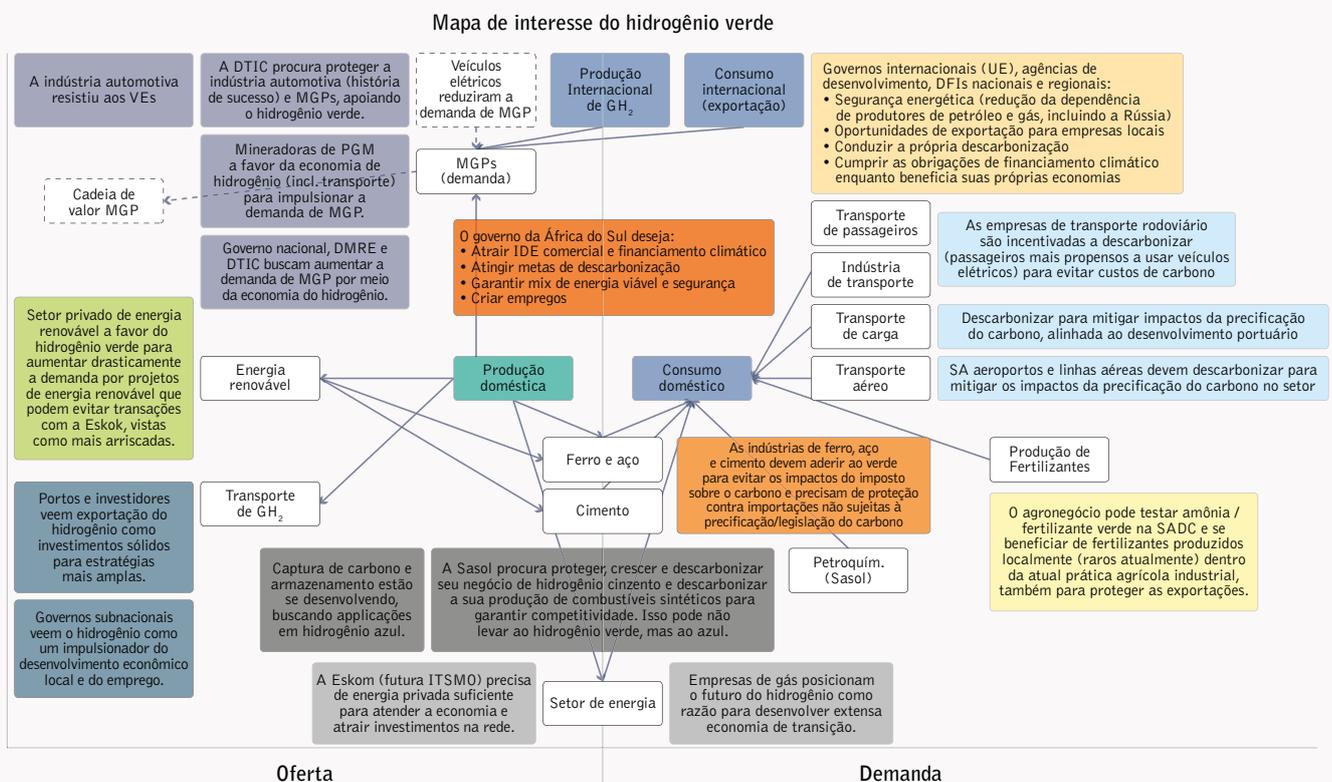
Este documento de estrutura de alto nível identifica a expansão da economia local de hidrogênio como sendo fundamental para atingir a meta nacional de “um crescimento econômico de carbono líquido zero, justo e inclusivo para o bem-estar da sociedade até 2050” por meio de resultados que incluem:

- Descarbonização de transporte pesado
- Descarbonização de indústrias intensivas em energia (cimento, aço, mineração, refinarias)
- Setor de energia aprimorada e verde (eletricidade) (principal e microrredes)

- Centro de Excelência em Fabricação de produtos de hidrogênio e componentes de células de combustível (produção local de componentes da cadeia de valor do hidrogênio)
- Criar um mercado de exportação para o hidrogênio verde sul-africano
- Aumentar o papel do hidrogênio (cinza, azul, turquesa e verde) no sistema de energia sul-africano em linha com o movimento em direção a uma economia líquida zero

Embora a África do Sul tenha adotado recentemente uma “Estrutura de Transição Justa” abrangente, os planos de hidrogênio existentes são de alto nível e aspiracionais, e não práticos.

Figura 9: Mapa de interesse de atores influentes na emergente economia sul-africana de hidrogênio



Fonte: Heinrich Böll Foundation South Africa.



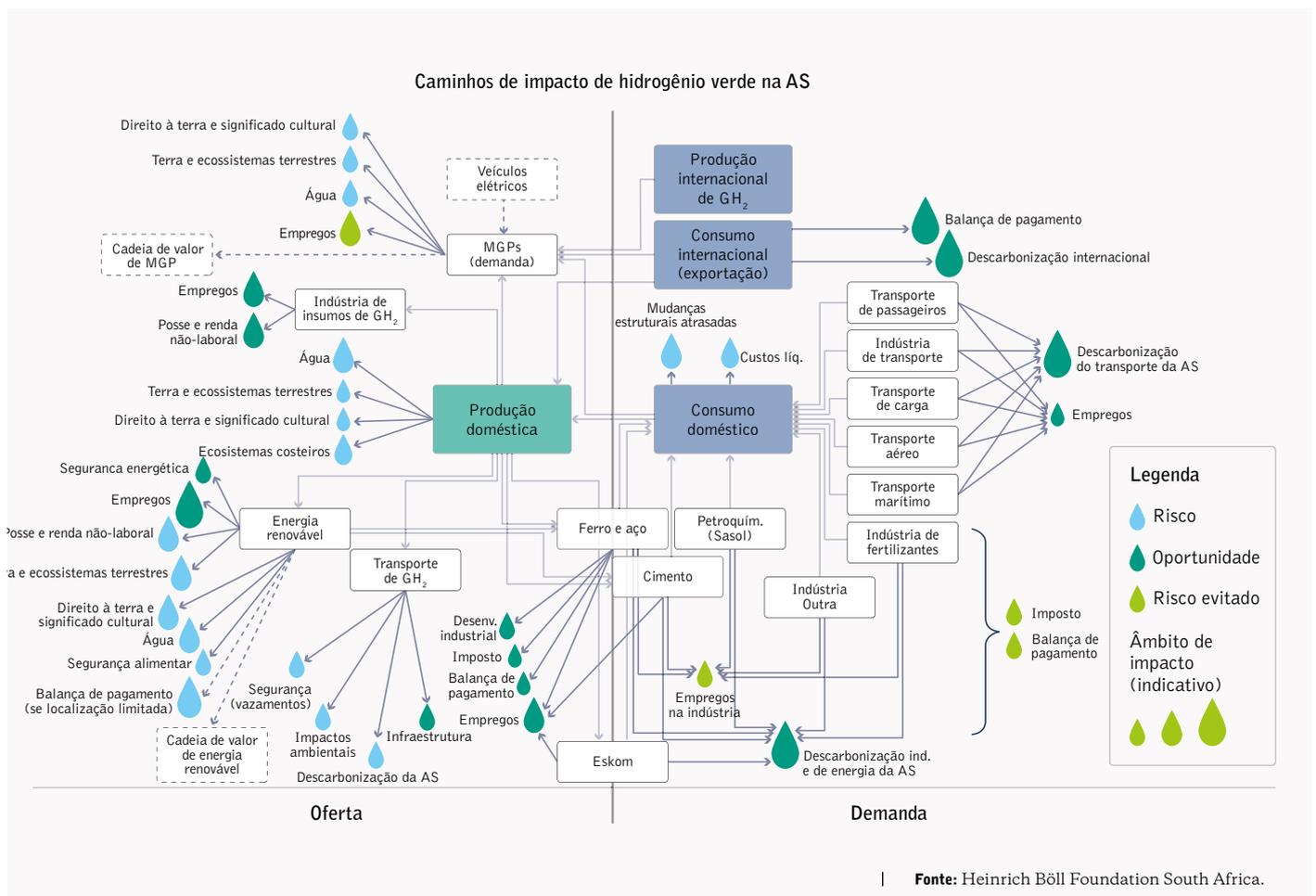
Anexos continuação

Embora o processo do Departamento de Ciência e Inovação fosse multissetorial, a sociedade civil em geral e as organizações comunitárias em particular foram excluídas. Isso pode ser atribuído, pelo menos em parte, às complexidades técnicas e econômicas do assunto. A Fundação Heinrich Böll e o projeto Brot für die Welt na África do Sul investiram significativamente na preparação do terreno para consultas informadas, que estão em andamento.

As medidas incluem:

- Desenvolvimento de um documento “*State of Play*” sobre hidrogênio verde na África do Sul, incluindo análise de atores e impactos nas cadeias de valor.
- Desenvolvimento de material de educação popular sobre hidrogênio verde que pode ser usado em comunidades da linha de frente.
- Realização de workshops com grupos afetados – comunidades de linha de frente e sindicalistas – para compartilhar informações sobre hidrogênio verde e planos específicos para vários setores/localizações geográficas.

Figura 10: Caminhos do Impacto do Hidrogênio Verde da África do Sul (Esboço)



A tabela abaixo descreve os riscos que foram identificados por meio de análises comissionadas e as preocupações que surgiram nas discussões da comunidade ou da sociedade civil na linha de frente. Observe que, como o envolvimento ainda está em andamento, o material abaixo não é exaustivo nem representativo.

Tabela 2: Riscos e preocupações identificadas

Impacto	Descrição
Descarbonização atrasada	Se o caminho da descarbonização do hidrogênio na África do Sul for baseado em um aumento inicial na produção de hidrogênio (cinza ou azul) e esverdeamento em um ponto posterior, a descarbonização pode, de fato, ser atrasada. Isso não é necessariamente o caso e depende de como políticas, regulamentos e incentivos forem implantados. No entanto, esta é uma grande preocupação para grupos ambientalistas, que veem grandes poluidores, como a Sasol, usarem isso como uma porta dos fundos para continuar e expandir a produção de hidrogênio cinza. Além disso, existem grandes preocupações em relação aos impactos dos vazamentos de hidrogênio nos GEEs, como a consequência do prolongamento da vida útil do metano.
Financiamento climático	A África do Sul receberá financiamento climático finito a taxas concessionais. Direcionar esses fundos para apoiar a viabilidade de projetos de hidrogênio verde significaria que eles não seriam usados em outras prioridades urgentes de transição justa.
Água	A África do Sul é um país com escassez de água, com desafios significativos de governança hídrica. A água precisa ser alocada equitativamente para uso residencial, bem como para apoiar atividades econômicas de acordo com as prioridades sustentáveis nacionais e locais. Em muitas comunidades que abrigariam projetos de hidrogênio verde, o acesso à água já está severamente restrito.
Ecosistemas costeiros	As principais preocupações foram levantadas em relação à eliminação da descarga de salmoura das usinas de dessalinização. O despejo de salmoura pode danificar significativamente os ecossistemas oceânicos, com impactos devastadores nos meios de subsistência baseados no oceano. Nos casos em que projetos de hidrogênio verde também são considerados como destravadores de investimentos em infraestrutura portuária, há preocupações quanto ao impacto desses grandes desenvolvimentos.
Terra	Comunidades empobrecidas tendem a ser altamente inseguras devido ao legado do apartheid, ao ritmo lento dos programas de reforma agrária, bem como às estruturas tradicionais de governança. A significativa massa de terra necessária para a produção de hidrogênio verde pode exacerbar tais inseguranças. Tal como acontece com os ecossistemas costeiros, isto pode ter um impacto negativo na segurança alimentar.
Tensão na infraestrutura disponível	Onde a infraestrutura existente é necessária para apoiar o desenvolvimento do hidrogênio (por exemplo, se a rede de transmissão de eletricidade for utilizada ou as estradas forem usadas para o transporte de hidrogênio), isso pode sobrecarregar ainda mais a infraestrutura de rede já envelhecida e deteriorada da África do Sul, a menos que a manutenção adequada seja rastreada rapidamente.
Governança e regulamentos	Mesmo onde existe uma regulamentação adequada, as instituições governamentais, principalmente nos níveis locais, carecem de capacidade para monitorar e fazer cumprir as regulamentações. Também não está claro se ou como serão feitas as trocas entre as prioridades locais, como segurança alimentar ou pobreza energética e geração de receita, dadas as falhas de governança, transparência e responsabilidade. A competição entre diferentes municípios ou províncias para atrair investimentos em hidrogênio verde pode resultar em impactos perversos nos controles ambientais e sociais.
Conservação e proteção da biodiversidade	Os desenvolvimentos internacionais sugerem que a demanda internacional por hidrogênio verde no Norte Global pode resultar em investimentos em países em desenvolvimento que prejudicam as proteções ambientais locais (como investimentos em áreas protegidas).
Segurança	Trabalhadores vêm expressando preocupação em relação à segurança do hidrogênio.
Empregos	A experiência das comunidades que recebem investimentos em mineração ou energia renovável é que residentes muitas vezes não se beneficiam significativamente dos empregos, que são precários ou exigem habilidades especializadas.
Impactos sociais	A chegada de imigrantes em busca de emprego, bem como os conflitos intracomunitários relacionados às permissões de uso da terra, pode desestabilizar as comunidades.
Mudança de sistemas atrasada	O uso de hidrogênio verde pode permitir que as sociedades atrasem mudanças sistêmicas mais difíceis. Por exemplo, esverdear a produção de fertilizantes sintéticos pode atrasar a transição para a agricultura agroecológica. A exportação de hidrogênio verde para o Norte Global poderia permitir a continuação de estilos de vida insustentáveis, em vez de medidas para reduzir o consumo e aumentar a eficiência.



Anexos continuação

Tabela 3: Os benefícios potenciais para a África do Sul como país

Impacto	Descrição
Descarbonização de setores “difíceis de reduzir”	O hidrogênio verde pode descarbonizar totalmente o setor petroquímico e químico, que hoje gera 13% das emissões do país. Especificamente, é fundamental para descarbonizar o setor de combustíveis sintéticos à base de carvão, que representa 90% das emissões do setor petroquímico e químico.
Geração de energia verde	A produção de hidrogênio verde pode fazer parte de um conjunto holístico de tecnologias para permitir que um sistema de energia baseado em energia renovável seja adequadamente equilibrado (usando o hidrogênio como transportador de energia e para armazenamento de energia).
Industrialização	A África do Sul pode ter uma vantagem competitiva significativa no desenvolvimento de uma economia de hidrogênio verde por causa de seu potencial de geração de energia renovável e recursos teoricamente disponíveis (como terra) para construir essa infraestrutura.
Benefícios para setores relacionados	A realização da economia do hidrogênio pode apoiar e aumentar outras indústrias, conforme mostrado nas vias de impacto acima (energia renovável, bem como indústrias de difícil redução).
Investimento em manutenção e nova infraestrutura	O investimento em hidrogênio verde pode incentivar e permitir o investimento em infraestrutura local – tanto onde as redes existentes precisarão ser aumentadas quanto onde novos projetos de infraestrutura exigem investimentos âncora locais para torná-los financeiramente viáveis. Isso se aplicaria no caso de desenvolvimento de um novo porto no Cabo Setentrional, observando com cautela as complexidades e os potenciais impactos negativos desse desenvolvimento.
Receita tributária	O aumento da produção industrial aumentaria a geração de receita tributária. O Roteiro da Hydrogen Society sugere que a Iniciativa Platinum Valley poderia adicionar US\$ 3,9 a 8,8 bilhões ao PIB da África do Sul (incluindo contribuições indiretas) até 2050.
Balança comercial	O aumento das exportações teria um impacto positivo na balança comercial da África do Sul. Por exemplo, 1 Mt de aço primário verde poderia gerar receitas de exportação semelhantes a 5 Mt de minério de ferro ou 7 Mt de carvão.
Criação de empregos	Segundo a AIER, é preciso “Identificar oportunidades de crescimento econômico e geração de empregos. Como parte de uma estratégia, os formuladores de políticas devem avaliar o valor que o setor de hidrogênio agregaria à economia e seu efeito nas indústrias associadas, quantificando o número de empregos gerados na fabricação, construção e operação de equipamentos e indiretamente na cadeia de suprimentos e apoiando indústrias. [...] Além disso, a mão de obra local precisa estar apta para realizar os novos empregos que serão gerados nessas atividades e até mesmo na regulamentação do setor. Os países, portanto, precisarão de programas de educação e treinamento para garantir uma correspondência entre as habilidades necessárias e as atualmente disponíveis.”
Colaboração	A colaboração na implantação de soluções relacionadas ao hidrogênio (por exemplo, atualização da rede de gás em um <i>cluster</i> de países) permite o compartilhamento de riscos, lições aprendidas e melhores práticas, o que se traduz em custos mais baixos.

5.1.7 Tunísia

Na Tunísia, está a ser desenvolvida uma estratégia para o desenvolvimento do hidrogênio verde, cuja finalização está prevista para 2023. A estratégia parece ter como principal prioridade a exportação para a Europa, em detrimento da produção nacional, apesar dos 97% de dependência da Tunísia do gás argelino para a produção de eletricidade⁷² e uma transição energética estagnada. Atualmente, apenas 3% da eletricidade são produzidos a partir de fontes renováveis, 95% são produzidos a partir do gás natural. A nova estratégia está sendo desenvolvida sem qualquer envolvimento da sociedade civil, cientistas independentes ou mecanismos para garantir benefícios e salvaguardas para as comunidades locais.

Com abundantes recursos solares e eólicos e metas climáticas ambiciosas – 35 por cento⁷³ do seu mix energético a partir de energias renováveis até 2030 e neutralidade carbônica até 2050 –, o país quer acelerar a implementação das energias renováveis no seu território e pretende posicionar-se no mercado de hidrogênio verde. As metas de energia renovável também visam reduzir a dependência de combustíveis fósseis e aumentar a segurança energética. No entanto, a estratégia de hidrogênio até agora não parece levar em conta o imperativo climático ou as metas domésticas de energia renovável.

Em dezembro de 2020, a Tunísia assinou um acordo de cooperação com a Alemanha para desenvolver hidrogênio verde. A Alemanha fornece € 31 milhões⁷⁴ – € 6 milhões para desenvolver uma estratégia de hidrogênio verde e € 25 milhões para a criação de um projeto piloto. As leis existentes da Tunísia sobre energia renovável serão expandidas com elementos sobre hidrogênio verde para tornar a Tunísia atraente para investidores. O governo vê esse mercado como um importante elemento de ganhos de divisas, mas não leva em conta potenciais aspectos sociais ou ambientais, perpetuando o modelo extrativista de matérias-primas existente e ignorando as necessidades de transição energética doméstica.

Além disso, as estratégias dos Ministérios da Energia e do Meio Ambiente parecem não se complementar. A Estratégia de Neutralidade de Carbono⁷⁵ e Resiliência Climática para 2050, do Ministério do Meio Ambiente, menciona o hidrogênio verde como um recurso de baixo carbono, em alguns casos. No entanto, o plano de reforma do setor de energia, bem como o plano solar da Tunísia (2018), não faz menção ao hidrogênio verde, apenas ao estabelecimento de uma unidade de produção de hidrogênio cinza.⁷⁶ O Ministério do Meio Ambiente ainda não está envolvido nas discussões sobre a estratégia nacional de hidrogênio verde.

Como a indústria é o segundo maior consumidor de energia final na Tunísia – um terço do consumo total, a maior parte importada – seria uma boa ideia fornecer a ela hidrogênio verde. No entanto, apenas o Groupe Chimique Tunisien está envolvido nas discussões sobre hidrogênio verde para amônia. Outros setores industriais – como a construção, maior consumidor de energia da Tunísia, ou o setor cimenteiro, que mais emite CO₂

no país – parecem não estar entre os beneficiários do projeto. Tampouco o é o setor de transportes com uso intensivo de energia, que o Ministério do Meio Ambiente pretende descarbonizar até 2030 (neutralidade carbônica e estratégia de resiliência às mudanças climáticas para 2050).

Desafios adicionais podem surgir do transporte de hidrogênio. Armazenar e transportar hidrogênio, um gás particularmente volátil, é um desafio. Estão previstas duas opções: via oleoduto ou via marítima. A Tunísia possui uma grande rede de gás utilizada para abastecer a si mesma e à Europa – via Itália – com gás natural argelino. Faz parte da rede de gás um gasoduto submarino para chegar à costa italiana. Para o hidrogênio, a ideia é reforçar a rede existente para injetar uma determinada porcentagem de hidrogênio verde na forma gasosa. Eventualmente, poderiam ser instalados dutos de hidrogênio dedicados. De acordo com alguns observadores, as empresas de transporte de gás impulsionaram a agenda do hidrogênio para exigir mais infraestrutura de gás para quando houver evidência de que as redes atuais são suficientes e uma expansão maior tem maior probabilidade de atender a uma infraestrutura contínua de combustível fóssil. Outra opção é o transporte por meio de navios-tanque dedicados ao transporte de gás na forma líquida. Para ser transportado na forma líquida, o hidrogênio requer tanques criogênicos que o mantenham a -253°C, exigindo uma quantidade considerável de energia muito cara e infraestrutura pesada. Se o hidrogênio verde for transportado por navio, certamente será na forma de amônia.

Os riscos sociais e ecológicos de uma infraestrutura significativa de hidrogênio foram apenas brevemente analisados em um estudo preliminar realizado pela Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ, na abreviatura alemã). Não estão atualmente previstos estudos de impacto para acompanhar a estratégia nacional de hidrogênio, mas apenas previstos quando os projetos estiverem a ser implementados, considerando que o hidrogênio verde é inerentemente positivo para o ambiente. Existem riscos de conflitos de uso da terra em vista das grandes áreas de superfície que serão necessárias para produzir hidrogênio verde. A estrutura atual tende a favorecer os investimentos estrangeiros em áreas marginalizadas, explorando os recursos da terra sem compensação adequada para as comunidades locais.⁷⁷

Um problema adicional decorre do uso significativo de água necessária para a produção de hidrogênio. A Tunísia está entre os países mais secos da bacia do Mediterrâneo. A dessalinização é, portanto, considerada a solução para a produção em larga escala de hidrogênio verde. A dessalinização pode ser uma técnica poluente, consumidora de energia e cara. Um litro de água dessalinizada requer dois litros de água do mar.⁷⁸ O rejeito líquido desse processo, a salmoura, contém uma concentração muito alta de sal e é despejado nos mares e oceanos todos os dias. Quando misturada com produtos químicos destinados a prevenir a incrustação dos sistemas, a salmoura é tóxica e causa poluição severa dos ecossistemas marinhos e aumento da temperatura da água.



Anexos continuação

Os ecossistemas marinhos estão acostumados a uma concentração de cerca de 30 gramas de sal por litro, enquanto a concentração de salmoura pode chegar a mais de 100 gramas de sal por litro. Se essas descargas continuarem por décadas, os efeitos serão terríveis e os danos à biodiversidade podem ser irreversíveis. As técnicas de diluição e difusão de salmoura podem reduzir esse risco, mas não há garantia de que serão respeitadas. Seria extremamente importante estudar detalhadamente a quantidade de água a ser dessalinizada e a quantidade de salmoura sendo produzida – e conseqüentemente exposta – junto com os resíduos químicos de produtos destinados a prevenir a incrustação por área costeira para avaliar a exequibilidade e viabilidade econômica de investimentos maiores na produção de hidrogênio verde na Tunísia.

Outro perigo poderia ser a continuação de um modelo econômico extrativista baseado na superexploração dos recursos naturais destinados à exportação para os mercados mundiais. Tendo a exportação de hidrogênio como prioridade para o governo, ignoram-se as necessidades energéticas do país, os custos sociais e ambientais e a dívida financeira que a implementação destes projetos poderia representar. Assim, pela perpetuação da exploração antidemocrática dos recursos que ela implica, a privatização deve ser evitada, ao contrário do caminho atualmente trilhado pela Tunísia. Baseando seus critérios de seleção na experiência e nos recursos financeiros disponíveis, o governo tunisiano convoca principalmente empresas estrangeiras que já desenvolveram projetos de grande escala em outros lugares.⁷⁹ Além disso, a liberalização do setor de energia renovável acentuará a retirada do estado tunisiano, em benefício de investidores estrangeiros em vez de comunidades locais e segurança energética doméstica.⁸⁰ Como um modelo melhor, as cooperativas de energia poderiam construir capacidade renovável local que atendessem às comunidades locais e vendesse o excedente para a rede nacional. Uma produção equitativa de hidrogênio verde exigiria, portanto, que os objetivos de descarbonização dos países exportadores, paralelamente às necessidades de suas populações, fossem o ponto de partida de uma estratégia sustentável.⁸¹ É fundamental que mecanismos de transparência e garantias para as populações envolvidas, a longo prazo, sejam implementadas.

5.2

Leitura adicional

1. Página da Fundação Heinrich Böll sobre hidrogênio verde (em inglês): <https://www.boell.de/en/green-hydrogen>
2. Página da Pão para o Mundo sobre hidrogênio verde: <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>
3. Caminhos para um mercado global de hidrogênio verde e sustentável: <https://www.boell.de/en/green-hydrogen>
4. Potencial técnico e desafios do hidrogênio renovável: problemas no sul global: Issues in the global south: <https://www.boell.de/en/green-hydrogen>
5. JDeclaração conjunta de ONGs ao G7 sobre hidrogênio: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikatione/n/energiewende/energiewende_g7_wasserstoff_forderungen.pdf
6. Pacto do hidrogênio G7: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/g7-unveils-controversial-hydrogen-action-pact-to-tackle-climate-crisis-and-russian-gas-reliance/2-1-1228275>
7. Perspectivas da sociedade civil sobre Produção de hidrogênio verde e produtos Power-to-X na África: <https://www.powershiftafrica.org/storage/publications/Green%20Hydrogen%20Position%20Paper.pdf>
8. GH₂ - Iniciativa de padrões de hidrogênio liderada pela indústria: <https://gh2.org/article/industry-leaders-welcome-launch-global-green-hydrogen-standard>
9. Recomendações de certificação da coalizão AIER para Ação: https://coalition.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_Green_Hydrogen_Certification_Brief_2022.pdf
10. Potencial e perspectivas do hidrogênio: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf
11. Riscos de vazamento de hidrogênio para o clima: Conseqüências do aquecimento global da substituição do gás natural por hidrogênio nos setores de energia doméstica de futuras economias de baixo carbono no Reino Unido e nos EUA <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921023247>
12. Documento sobre grandes instalações de energia renovável e pastoreio: <https://www.boell.de/en/2022/05/18/pastoralism-and-large-scale-renewable-energy-and-green-hydrogen-projects>
14. Materiais de educação popular sobre hidrogênio verde: <https://www.boell.de/en/2022/08/15/green-hydrogen-hype-or-beacon-hope>
15. Hidrogênio e biomassa – por que a biomassa é uma matéria-prima contraproducente para o hidrogênio: <https://www.biofuelwatch.org.uk/2022/hydrogen-biomass-briefing/>
16. Explicação – o que é hidrogênio – Blog alemão: <https://www.brot-fuer-die-welt.de/blog/2022-was-ist-eigentlich-wasserstoff/>

Box 5

Como é produzido o hidrogênio verde e quais são as “cores” do hidrogênio

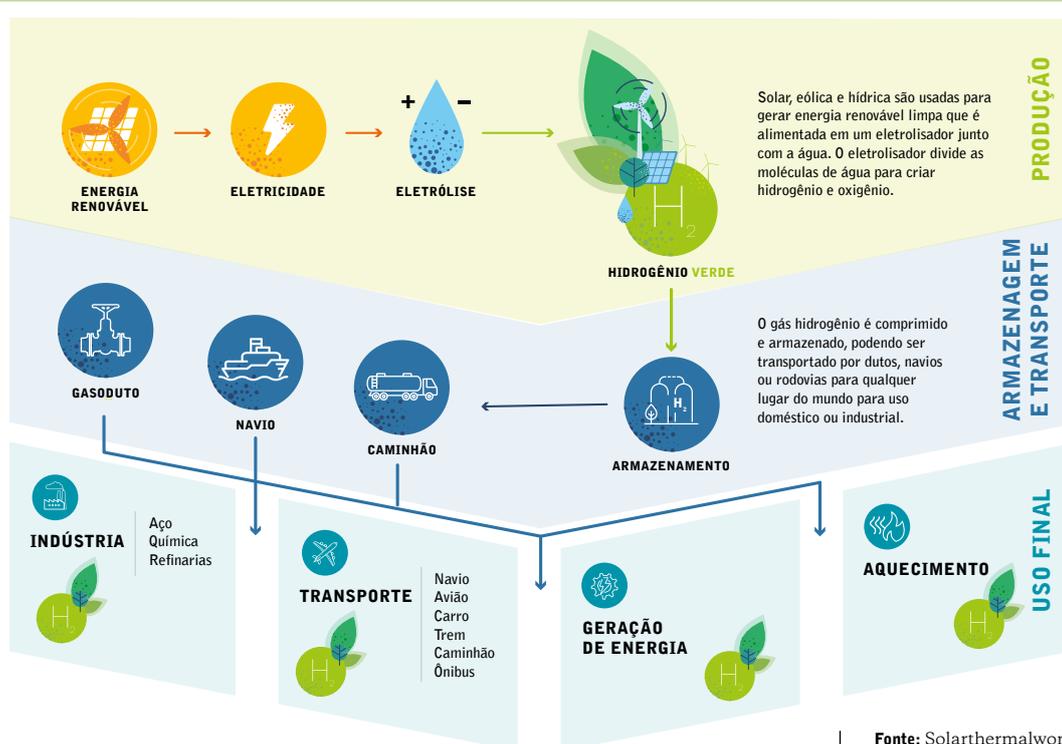
Coloquialmente, falamos de hidrogênio, mas nos referimos à molécula de hidrogênio, que é composta por dois átomos de hidrogênio, ou seja, o hidrogênio molecular. Este gás não ocorre naturalmente, mas pode ser sintetizado usando vários materiais de partida. É importante entender que o hidrogênio não é uma fonte de energia em si, como o sol e o vento, mas um portador de energia, um meio de armazenamento e uma matéria-prima.

A produção de hidrogênio verde é facilitada pela eletrólise. Os eletrolisadores separam a água em hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2).

O hidrogênio produzido pode ser armazenado no estado gasoso ou líquido. Para produzir hidrogênio “verde”, livre de emissões, é vital que a energia utilizada provenha de fontes de energia renováveis.

Além de aplicações industriais específicas, o hidrogênio verde pode potencialmente desempenhar um papel significativo no alcance da meta climática de Paris. Para esse fim, é crucial perceber a diferença entre o hidrogênio verde e o de origem fóssil. Ao final do processo de produção, a molécula de hidrogênio é sempre a mesma, mas o fator decisivo é o método de produção.

Figura 11: Como é produzido o hidrogênio verde?





Anexos continuação

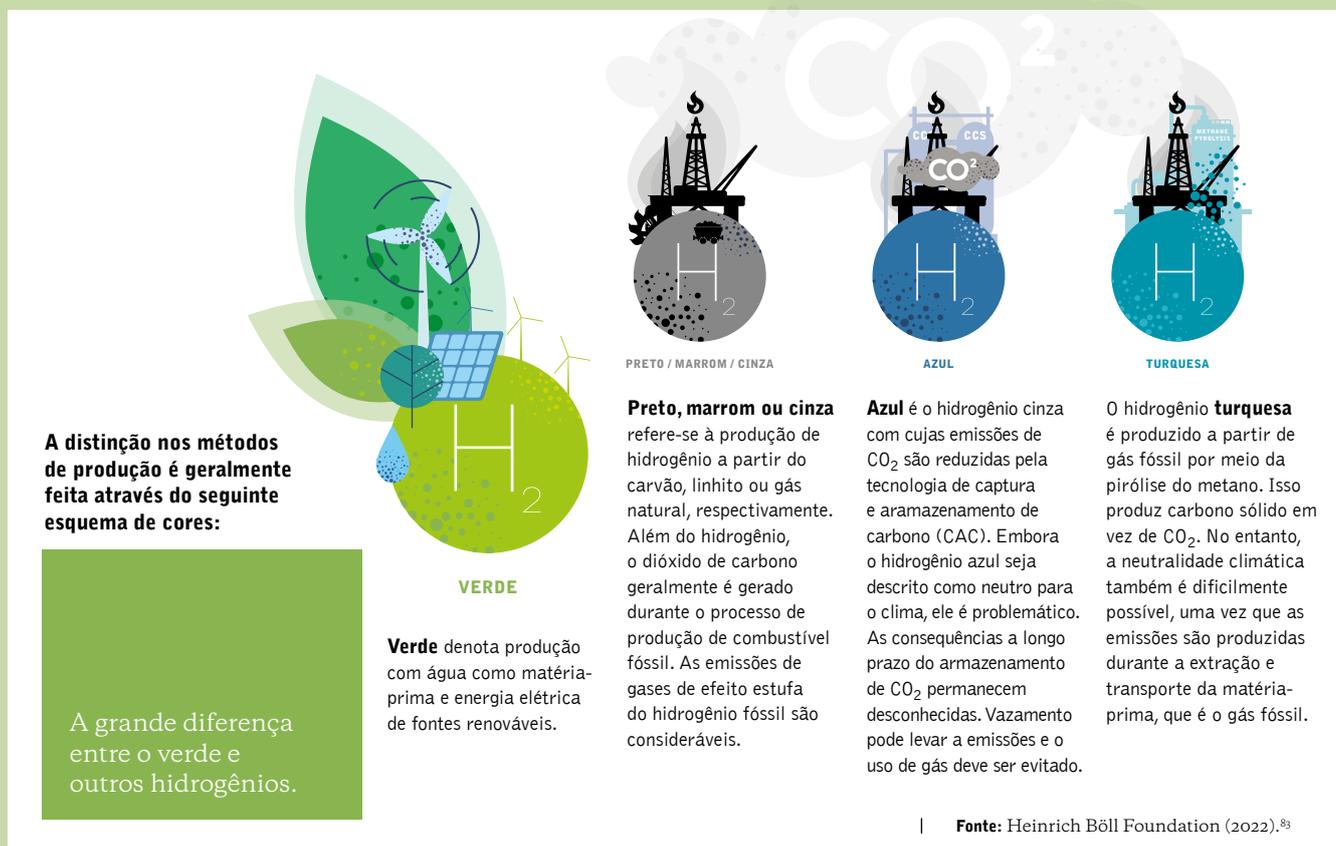
Box 5 - continuação

Como é produzido o hidrogênio verde e quais são as “cores” do hidrogênio

É útil ter em mente este espectro de cores que diferencia entre verde e não verde. Como todos os outros hidrogênios coloridos dependem do uso de matérias-primas fósseis, apenas o hidrogênio verde pode ser considerado uma das opções disponíveis no caminho para uma transição justa e um futuro livre de combustíveis fósseis. Mesmo com uma produção relativamente livre de emissões, os

hidrogênios não verdes perpetuam a demanda por matérias-primas fósseis. Eles, portanto, sustentam a indústria com altas emissões de CO₂, que é o maior contribuinte para a mudança climática. Portanto, este documento se concentra exclusivamente no hidrogênio renovável como a única tecnologia amiga do clima, excluindo a biomassa, conforme mencionado anteriormente.

Figure 12: A grande diferença entre hidrogênio verde e outros hidrogênios



“Rejeitamos o uso de hidrogênio baseado em combustível fóssil devido à continuação da extração fóssil prejudicial, emissões associadas de gases de efeito estufa, como por exemplo, metano no caso do hidrogênio “azul” ou “turquesa”. Também nos opomos ao hidrogênio nuclear, em vista de práticas nucleares arriscadas. Da mesma forma, o hidrogênio da bioenergia não reduz as emissões de gases de efeito estufa e tem um impacto muito alto no uso da terra, portanto, não é uma fonte adequada de hidrogênio. Nenhum desses tipos de hidrogênio é compatível com um futuro seguro e alinhado com o objetivo de 1,5°C e, assim, devem ser excluídos por políticas que promovam a produção e o uso de hidrogênio.”

53. Rio Negro (2022), Ambientalistas de Río Negro cuestionan el proyecto Hidrógeno Verde, <https://www.rionegro.com.ar/sociedad/ambientalistas-de-rio-negro-cuestionan-el-proyecto-hidrogeno-verde-2305843/>.
54. Argentina Presidencia (2021), Hacia una Estrategia Nacional Hidrógeno 2030, https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/segundo_documento_ces_hidrogeno.pdf.
55. Estadão (2021), Hidrogênio verde: oportunidade de geração de riqueza e sustentabilidade para o Brasil e o mundo, <https://economia.estadao.com.br/blogs/mckinsey-insights/hidrogeno-verde-oportunidade-de-geracao-de-riqueza-e-sustentabilidade-para-o-brasil-e-o-mundo/>.
56. Government of Brazil (2022), Resolução institui o Programa Nacional do Hidrogênio, <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/resolucao-institui-o-programa-nacional-do-hidrogenio>.
57. EPBR (2022), As características da normativa estadual do Ceará para produção de hidrogênio verde, <https://epbr.com.br/as-caracteristicas-da-normativa-estadual-para-producao-de-hidrogenio-verde-do-estado-do-ceara-e-as-diferentes-perspectivas-que-a-impulsionaram/>.
58. Ibid.
59. Heinrich Böll Stiftung (2021), Desafios e Oportunidades para o Brasil com o Hidrogênio Verde, <https://br.boell.org/pt-br/2021/05/21/desafios-e-oportunidades-para-o-brasil-com-o-hidrogenio-verde>.
60. IEA (2019)
61. EPBR (2022), As características da normativa estadual do Ceará para produção de hidrogênio verde, <https://epbr.com.br/as-caracteristicas-da-normativa-estadual-para-producao-de-hidrogenio-verde-do-estado-do-ceara-e-as-diferentes-perspectivas-que-a-impulsionaram/>.
62. Ministry of Energy, Government of Chile (2020), National Green Hydrogen Strategy, https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf.
63. International Labour Office (2018), Just Transition towards Environmentally Sustainable Economies and Societies for All, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---actrav/documents/publication/wcms_647648.pdf.
64. Sustentable S.A. (2022), SEA presenta nuevos documentos técnicos referidos a los Objetos de Protección e Hidrógeno Verde, <https://www.sustentable.cl/sea-presenta-nuevos-documentos-tecnicos-referidos-a-los-objetos-de-proteccion-e-hidrogeno-verde/>.
65. Ministry of Energy, Government of Chile (2021), Chile Ministerio de Energía y SEC publican la primera guía para apoyar solicitudes de proyectos de hidrógeno verde, <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/ministerio-de-energia-y-sec-publican-la-primer-guia-para-apoyar-solicitudes-de-proyectos-de-hidrogeno-verde>.
66. Codexverde (2022), Impactos de los aerogeneradores sobre la biodiversidad en Magallanes, <https://codexverde.cl/impactos-de-los-aerogeneradores-sobre-la-biodiversidad-en-magallanes/>; Codexverde (2022), Alertan sobre posibles impactos ambientales del hidrógeno verde en Magallanes, <https://codexverde.cl/alertan-sobre-posibles-impactos-ambientales-del-hidrogeno-verde-en-magallanes/>; Heraldo V. Norambuena et al. (2022), Green Energy Threatens Chile's Magallanes Region, *Science*, 376(6591), 361–62, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aba4129>.
67. Ladera Sur (2022), Científicos, profesionales y activistas envían carta abierta al Presidente por Hidrógeno Verde en Magallanes, <https://laderasur.com/articulo/cientificos-profesionales-y-activistas-envian-carta-abierta-al-presidente-por-hidrogeno-verde-en-magallanes/>.
68. Government of Colombia (2013), Law 1665 of 2013, http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedo/ley_1665_2013.html.
69. Government of Colombia (2014), Law 1715 of 2014, https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=57353.
70. Government of Colombia (2021), Law 2099 of 2021, https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY_2099_DEL_10_DE_JULIO_DE_2021.pdf.
71. President of Colombia (2022), Colombia se proyecta como el principal exportador de hidrógeno en América Latina y referente mundial en transición energética, <https://idm.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Colombia-se-proyecta-como-el-principal-exportador-de-hidrogeno-en-America-L-220606.aspx#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20Ruta,necesarios%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de>.
72. Énergies Media (2022), Tunisia: Natural Gas Purchase Deals with Algeria Have Increase by 25% between February 2021 and February 2022, April 4.
73. É o que informa o Sr. Belhassen Chiboub, Diretor Geral de Transição Energética do Ministério de Energia e Mineração, durante um seminário em 28 de junho de 2022 no Sheraton Hotel.
74. Bulletin d'information (2022), Partenariat de recherches sur l'hydrogène vert avec l'Allemagne, <https://bulletin-usf.info/partenariat-de-recherches-sur-lhydrogene-vert-avec-lallemagne/>.
75. HEAT GmbH et al. (2022), Stratégie de neutralité carbone et de résilience au changement climatique à l'horizon 2050, http://www.environnement.gov.tn/images/fichiers/info_climat/SNBCRCC.pdf.
76. Chokri Aslouj (2022), Comment développer une économie verte ou comment l'hydrogène vert pourrait être l'élément des maux de la Tunisie ? Le problème de l'énergie [How to develop a green economy or how could green hydrogen be the panacea for Tunisia's condition? The Energy Issue], *Leaders*, January 28, <https://www.leaders.com.tn/article/32912-comment-developper-une-economie-verte-ou-comment-l-hydrogene-vert-pourrait-etre-l-elixir-des-maux-de-la-tunisie-le-probleme-de-l-energie>.
77. Um exemplo: em Borj Essalhi, uma vila de pescadores no norte da Tunísia, cidadãos lutam há mais de 10 anos para obter indenização após a instalação do primeiro parque eólico da Tunísia, nos anos 2000, em suas terras. Parte do terreno onde foram instaladas as turbinas eólicas pertencia à comunidade, que o utilizavam para agricultura. Para fins do projeto eólico, essas terras foram tomadas à força e agora são propriedade do Estado. A grilagem de terras exacerbou a marginalização e a pobreza das populações afetadas, alimentando os conflitos e levando-os à migração.
78. Jim Robbins (2019), As Water Scarcity Increases, Desalination Plants Are on the Rise, *Yale Environment 360*, June 11, <https://e360.yale.edu/features/as-water-scarcity-increases-desalination-plants-are-on-the-rise>.
79. Chafik Ben Rouine and Flavie Roche (2022), “Renewable” Energy in Tunisia: An Unjust Transition, March 31, <https://longreads.tni.org/renewable-energy-in-tunisia>.
80. Ibid.heinrich
81. Sven Morgen et al. (2022), Fair, Green Hydrogen?, Rosa-Luxemburg-Stiftung, <https://www.rosalux.de/en/publication/id/46412/fair-green-hydrogen>.
82. Solarthermalworld (2020), Green Hydrogen and the Associations' Point of View, <https://solarthermalworld.org/news/green-hydrogen-and-associations-point-view/>.
83. Heinrich Böll Foundation e Brot für die Welt (2022), Green Hydrogen – Hype or Beacon of Hope? https://www.boell.de/sites/default/files/2022-08/green_hydrogen_-_hype_or_beacon_of_hope.pdf.



“A crise climática não será evitada sem uma rápida expansão da indústria de energia renovável. No entanto, um futuro de carbono líquido zero pode e deve andar de mãos dadas com o desenvolvimento sustentável, a redução da pobreza e a redução da desigualdade (...). Um foco estreito no retorno de investimentos de curto prazo, independentemente dos danos às pessoas e ao meio ambiente, levou as empresas de combustíveis fósseis a perder legitimidade e licença social para operar. Se o mesmo acontecer com as empresas de energia renovável, isso apenas retardará nossa expansão para um futuro de carbono líquido zero. É por isso que precisamos de energia limpa que respeite os direitos humanos. Uma transição que é rápida, mas também justa.”

Mary Robinson, Climate Justice (2020)
