
S&P Global
Commodity Insights



OIL AND GAS CLIMATE INITIATIVE

LIVRO BRANCO

Hubs de CCUS no Brasil: Construindo Cenários, Superando Barreiras

FEVEREIRO 2024





Sobre o relatório

Hubs de CCUS no Brasil: Construindo Cenários, Superando Barreiras é um relatório da Oil and Gas Climate Initiative, com o apoio da Petrobras. Ele se baseia em um estudo proprietário conduzido pela S&P Global em maio de 2023 sobre o potencial de desenvolvimento de um hub de CCUS no Brasil e seus efeitos econômicos, bem como em uma pesquisa documental adicional. O estudo da S&P Global inclui modelagem técnica sobre a localização dos hubs e outros fatores, e uma modelagem econométrica sobre os efeitos no PIB e no emprego.



Sobre a Oil and Gas Climate Initiative (OGCI)

A Oil and Gas Climate Initiative é uma organização liderada por CEOs que reúne 12 das maiores empresas de petróleo e gás do mundo para liderar a resposta da indústria às mudanças climáticas. Seu objetivo é acelerar as ações em direção a um futuro de emissões líquidas zero, em conformidade com o Acordo de Paris.

Os membros da OGCI são Aramco, Bp, Chevron, CNPC, Eni, Equinor, ExxonMobil, Occidental, Petrobras, Repsol, Shell e Total Energies. Juntos, os membros da OGCI representam quase um terço da produção global de petróleo e gás.

A OGCI estabeleceu o Climate Investment para criar um fundo de mais de US\$1 bilhão que investe em empresas, tecnologias e projetos que aceleram a descarbonização na energia, indústria, construção e transporte.

OUR MEMBER COMPANIES



Sobre a S&P Global

S&P Global é uma provedora de classificações de crédito, benchmarks, análises e soluções de fluxo de trabalho nos mercados globais de capital, commodities, automotivo e engenharia. A S&P capacita governos, empresas e indivíduos com os dados corretos, expertise e tecnologia conectada para que possam tomar decisões com convicção. Desde ajudar seus clientes a avaliar novos investimentos até orientá-los nas questões ambientais, sociais e de governança (ESG) e na transição energética em cadeias de suprimentos, a S&P desbloqueia novas oportunidades, ajuda a solucionar desafios e acelera o progresso para o mundo. A S&P Global oferece soluções abrangentes de ESG e clima para seus clientes, informando sobre sustentabilidade, transição energética e agendas climáticas.

Disclaimer

A IHS Global Inc. faz parte da S&P Global Commodity Insights, uma divisão de negócios da S&P Global Inc. ("SPGCI"). Os materiais da SPGCI, como relatórios, dados e informações mencionados aqui, são propriedade protegida por direitos autorais da SPGCI e representam dados, pesquisas, opiniões ou pontos de vista publicados pela SPGCI, e não são representações de fatos. A SPGCI conduziu essa análise e preparou os materiais da SPGCI utilizando habilidade e cuidado razoáveis na aplicação de métodos de análise consistentes com a prática normal do setor. Previsões são inerentemente incertas devido a eventos ou combinações de eventos que não podem ser razoavelmente previstos, incluindo ações do governo, indivíduos, terceiros e concorrentes. Os materiais da SPGCI falam a partir da data original de publicação (e não a partir da data deste documento). As informações e opiniões expressas nos materiais da SPGCI estão sujeitas a mudanças sem aviso prévio, e a SPGCI não tem obrigação ou responsabilidade de atualizar os materiais da SPGCI. Além disso, embora os materiais da SPGCI reproduzidos aqui sejam provenientes de fontes consideradas confiáveis, a SPGCI não assume responsabilidade pela precisão ou completude deles, nem sua precisão ou completude é garantida, nem as opiniões e análises baseadas neles. Na medida permitida por lei, a SPGCI não será responsável por quaisquer erros ou omissões, ou por qualquer perda, dano ou despesa incorridos ao se basear nos materiais da SPGCI ou em qualquer declaração neles contida, ou resultante de qualquer omissão. **NENHUMA GARANTIA IMPLÍCITA DE COMERCIALIZAÇÃO OU ADEQUAÇÃO A UM PROPÓSITO ESPECÍFICO SE APLICA.** Os materiais da SPGCI não devem ser interpretados como aconselhamento financeiro, de investimento, jurídico, fiscal ou qualquer outro tipo de aconselhamento relacionado à estrutura corporativa ou jurídica, ativos ou passivos, capital financeiro ou estrutura de dívida do destinatário, classificação de crédito atual ou potencial ou conselhos direcionados à melhoria da solvência do destinatário, nem devem ser considerados como uma oferta, recomendação ou solicitação de oferta para comprar, vender ou negociar qualquer investimento, valor mobiliário ou tomar decisões de investimento. Os materiais da SPGCI não devem ser utilizados para tomar qualquer decisão de investimento ou outra decisão, nem servir de substituto para outras consultas ou procedimentos que possam ser apropriados. Os materiais da SPGCI não devem ser reproduzidos ou disponibilizados para qualquer outro destinatário sem o consentimento prévio por escrito da SPGCI. Nada nos materiais da SPGCI constitui uma solicitação da SPGCI ou de suas afiliadas para compra ou venda de empréstimos, valores mobiliários ou investimentos. Os materiais da SPGCI são fornecidos sem obrigações e com a compreensão de que qualquer destinatário que aja com base nos materiais da SPGCI ou que de outra forma mude sua posição em confiança neles o faz inteiramente por sua própria conta e risco. Os materiais da SPGCI foram preparados exclusivamente para o benefício exclusivo do cliente da SPGCI para uso interno do cliente da SPGCI e podem refletir discussões entre a SPGCI e o cliente da SPGCI aos quais outros destinatários não foram parte, incluindo, em certas situações, certas opiniões expressas e informações fornecidas pelo cliente da SPGCI. Os materiais da SPGCI podem enfatizar questões que são relevantes para o cliente da SPGCI e podem não abordar ou refletir requisitos ou interesses específicos de outros destinatários. Nenhuma parte dos materiais da SPGCI pode ser reproduzida, reutilizada ou distribuída de qualquer forma sem o consentimento prévio por escrito da SPGCI. Os materiais da SPGCI reproduzidos ou redistribuídos com permissão da SPGCI devem exibir avisos legais da SPGCI e atribuições de autoria. Os nomes e logotipos da SPGCI e outras marcas comerciais que aparecem nos materiais da SPGCI são propriedade da S&P Global Inc. ou de seus respectivos proprietários. A S&P Global Inc. também possui as seguintes divisões: S&P Dow Jones Indices, S&P Global Market Intelligence, S&P Global Mobility e S&P Global Ratings, cada uma das quais fornece produtos e serviços diferentes. A S&P Global Inc. mantém as atividades de suas divisões de negócios separadas entre si para preservar a independência e objetividade de suas atividades. A SPGCI publica informações sobre commodities, incluindo avaliações de preços e índices. A SPGCI mantém uma separação estrutural e operacional clara entre suas atividades de avaliação de preços e as demais atividades realizadas pela SPGCI e outras divisões de negócios da S&P Global Inc., a fim de salvaguardar a qualidade, independência e integridade de suas avaliações de preços e índices, garantindo que estejam livres de quaisquer conflitos de interesse reais ou percebidos. Os produtos entregues não devem ser interpretados ou considerados como uma recomendação de qualquer avaliação de preço ou benchmark específico.





Índice

Resumo executivo	5
Introdução: Captura de carbono e descarbonização	6
CCUS na agenda global	6
Capítulo 1: A descarbonização da indústria brasileira	7
Ferro e aço	8
A taxação de carbono da Europa reforça a motivação comercial	8
Quadro 1: Mecanismo europeu de ajuste de fronteira sobre o carbono	9
Descarbonização do aço com CCUS	9
Capítulo 2: CCUS no Brasil: Considerações para um hub	14
O que é um hub de CCUS?	15
As condições podem ser propícias para um hub no Brasil	15
Barreiras ao desenvolvimento de um hub no Brasil	18
Dobrando a curva de custos do CCUS no Brasil	18
Capítulo 3: O contexto econômico e de negócio para o CCUS	20
O contexto global	21
Quadro 2: O contexto macroeconômico para o cenário de hubs de CCUS	22
O contexto econômico no Brasil	22
Capítulo 4: O caminho a seguir	25
Modelos de negócio dos hubs de CCUS: três opções	26
Como reduzir os custos do CCUS	28
Facilitadores de políticas: o contexto global	29
Exemplos nacionais de fomento ao CCUS	31
Potenciais fatores de promoção de políticas para o Brasil	34
Conclusão: Aproveitando a oportunidade	35
Apêndice: Metodologia	36



Resumo executivo

O interesse global na captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS) nunca foi tão grande. A urgência da ação climática, combinada com opções limitadas de descarbonização para vários setores de difícil abatimento de emissões (hard-to-abate), confere ao CCUS um apelo proeminente no portfólio de tecnologias sustentáveis.

No Brasil, o CCUS poderia ajudar os setores industriais em crescimento no país a cumprir as suas ambições ambientais e aumentar a sua presença em um mercado global em rápida descarbonização. Este relatório examina o aspecto econômico do CCUS no Brasil, o modelo de negócios e as iniciativas políticas que poderiam ser usadas para cultivar um ecossistema de CCUS no país.

As principais conclusões são as seguintes:



As pressões de descarbonização – especialmente dos principais parceiros comerciais no exterior – estão impulsionando transformações ambientais em diversos setores industriais brasileiros, em particular o setor de ferro e aço, e do de etanol.



Uma análise própria dos dados existentes, realizada exclusivamente para este relatório, identificou oito locais no país que poderiam armazenar uma quantidade significativa de dióxido de carbono, incluindo duas áreas na costa sudeste do país, que poderia representar cerca de 95% do total das reservas domésticas de armazenamento.



Uma segurança jurídica, na forma de regulamentações claras de CCUS em nível federal, combinada com uma redução nos impostos de importação, poderia reduzir os custos do CCUS no Brasil em uma média de 18% em sete setores analisados.



Uma projeção econômica calculada para este estudo sugere que o desenvolvimento de hubs de CCUS poderia impulsionar um crescimento adicional do PIB em até US\$ 3,2 bilhões por ano e estimular a criação de 210.000 novos empregos no Brasil.



O Brasil pode buscar modelos internacionais de políticas públicas e arcabouços regulatórios que promovam o CCUS, inclusive por meio de políticas fiscais e tributárias, apoio à pesquisa e desenvolvimento (P&D) e muito mais.



INTRODUÇÃO

CCUS e descarbonização

O CCUS apresenta uma oportunidade promissora para os países reduzirem as suas emissões de dióxido de carbono em setores industriais onde existem poucas alternativas viáveis. A tecnologia começou como uma aplicação de nicho na produção de petróleo, mas agora evoluiu para uma solução de descarbonização de 360 graus. Este relatório defende o desenvolvimento do CCUS no Brasil, à medida que o país trabalha para atender às suas ambições climáticas de uma forma que preserve a indústria e ao mesmo tempo impulse a economia.

CCUS na agenda global

O CCUS tem sido usado há décadas como uma forma de produzir petróleo a partir de reservatórios geológicos que estão quase depletados – um processo conhecido como recuperação avançada de petróleo [enhanced oil recovery \(EOR\)](#). À medida que as pressões climáticas aumentam, a tecnologia agora é vista como uma importante alavanca de descarbonização que pode ser usada por setores de difícil abatimento de emissão (hard-to-abate), de modo que o dióxido de carbono emitido possa ser capturado e armazenado permanentemente em reservatórios geológicos, independentemente da produção de combustíveis fósseis. O CCUS agora está se difundindo pelo cenário industrial, à medida que as empresas correm para atingir as metas de balanço líquido zero de suas emissões, em um cenário tecnológico desafiador. Após anos de crescimento lento ou estagnação durante grande parte da década de 2010, o CCUS explodiu em popularidade desde 2017, com quase 250 milhões de toneladas por ano (Megatonelada por ano, Mtpa) de capacidade de armazenamento de dióxido de carbono já em operação ou em construção até o final de 2022 – um aumento de 45% em relação ao ano anterior.

Esse crescimento se baseia no engajamento gerado pelo Acordo de Paris para limitar o aumento da temperatura global a não mais que 2°C e, idealmente, abaixo de 1,5°. Traduzido em uma meta global de balanço líquido zero de emissões (net zero) até 2050, o [Clean Energy Progress Tracker](#) da Agência Internacional de Energia (IEA) reporta que será necessário 1,2 gigatoneladas (Gt) de CCUS por ano até 2030. O setor precisará se expandir rapidamente nos próximos anos para atender às expectativas.



01

**CONSTRUINDO CENÁRIOS,
SUPERANDO BARREIRAS**

Descarbonização da indústria brasileira



CAPÍTULO UM

Descarbonização da indústria brasileira

Recentemente, o Brasil [reforçou](#) a meta de mitigação de gases de efeito estufa (GEE) estabelecida no âmbito do Acordo de Paris. O país agora tem como objetivo reduzir as emissões em 48,4% até 2025 e 53,1% até 2030, ambos em comparação com os níveis de 2005; seu plano de atingir a neutralidade climática até 2050 permanece inalterado. O CCUS poderia desempenhar um papel importante para ajudar o país a atingir essas metas, ao mesmo tempo em que apoia setores-chave e cria empregos. Dois setores em particular – ferro/aço e bioetanol – poderiam apresentar uma atividade significativa de CCUS. As pressões de descarbonização, tanto domésticas como provenientes de mercados internacionais, devem impactar ambos os setores, à medida que o Brasil busca manter e aumentar sua posição internacional.

Ferro e aço

O Brasil é o nono maior produtor de aço do mundo, com uma produção [produção](#) total de de 34 milhões de toneladas (Mt) em 2022. Desse total, 13,5 Mt foram [exportadas](#), um aumento de 17% em relação ao ano anterior. No primeiro semestre de 2022, o volume dessas exportações para a Europa [aumentou](#) 710% em comparação com o mesmo período de 2021, uma vez que a guerra na Ucrânia afetou os mercados globais. O setor siderúrgico brasileiro tem uma imensa oportunidade de capitalizar essa tendência, mas precisará se adaptar.

A taxa de carbono da Europa impulsiona os negócios

A Europa possui um dos maiores e, possivelmente, o mais bem-sucedido sistema de comércio de emissões do mundo, o [EU ETS](#). Com o objetivo de evitar que a indústria europeia em processo de descarbonização perca a competitividade em relação a seus pares globais, a Europa implementou recentemente o Mecanismo de Ajuste de Fronteira para o Carbono - ([Carbon Border Adjustment Mechanism - CBAM, em inglês](#)), uma tarifa sobre produtos importados – incluindo ferro e aço – produzidos por meio de processos com uso intensivo de carbono (Quadro 1). O CBAM exige que os importadores informem as suas emissões a partir de 2023, com a cobrança de taxas iniciando em 2026. As tarifas aumentam gradualmente ao longo dos anos.

Quadro 1: Mecanismo de Ajuste de Fronteira para o Carbono (CBAM) da Europa

O objetivo da Europa é incentivar que a sua indústria se descarbonize sem ser prejudicada por importações de locais onde não há preço para o carbono.

Quais produtos são cobertos?

- Energia
- Ferro e aço (incluindo alguns subprodutos)
- Cimento
- Alumínio
- Hidrogênio
- Alguns polímeros

Como funciona?

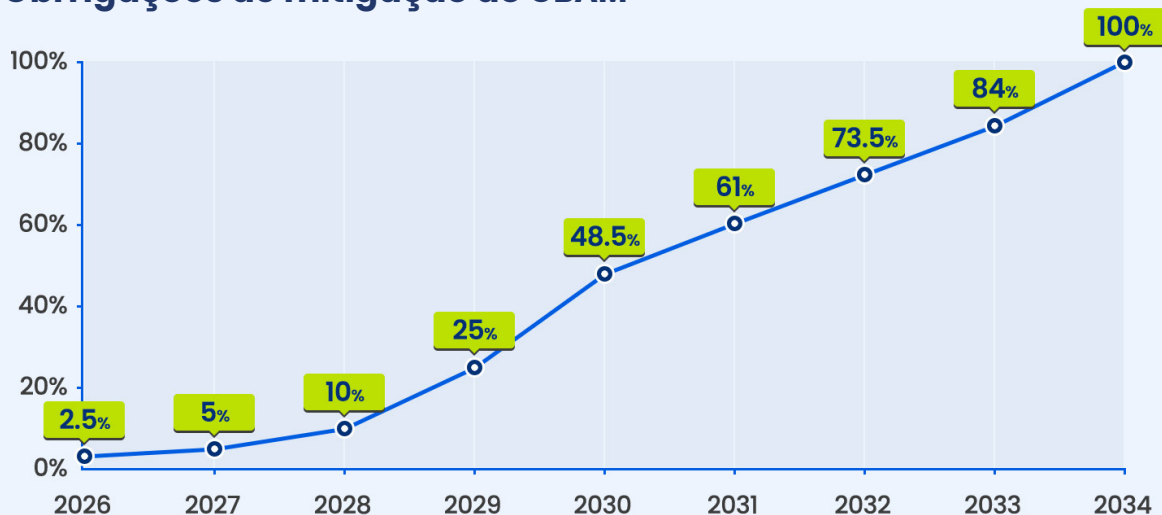
- Os importadores devem relatar as emissões da cadeia de valor de seus produtos, devendo o reporte ser verificado por terceira parte independente.
- Serão consideradas as emissões diretas e indiretas.
- Os importadores devem adquirir certificados CBAM para cobrir as emissões.
- Os produtores de países onde existe uma precificação de carbono pagarão apenas a diferença de preços entre o EU ETS e o seu mecanismo doméstico de precificação.
- Os importadores que não fizerem o relato adequadamente serão tributados com a mesma taxa que os 10% dos produtores domésticos da UE com pior desempenho.
- O custo de um certificado CBAM em um determinado momento é o preço médio semanal do certificado de permissão de emissão (allowance) adotado pelo comércio doméstico de emissões da UE.

Qual é o cronograma?

- 2023: início da obrigação de reporte de emissões.
- 2026: os importadores devem adquirir certificados CBAM que cubram 2,5% das emissões.
- 2026-2034: a parcela de emissões cobertas pelo CBAM aumenta gradualmente (Figura 1).
- 2034: os importadores devem adquirir certificados CBAM que cubram 100% das emissões.

FIGURE 1

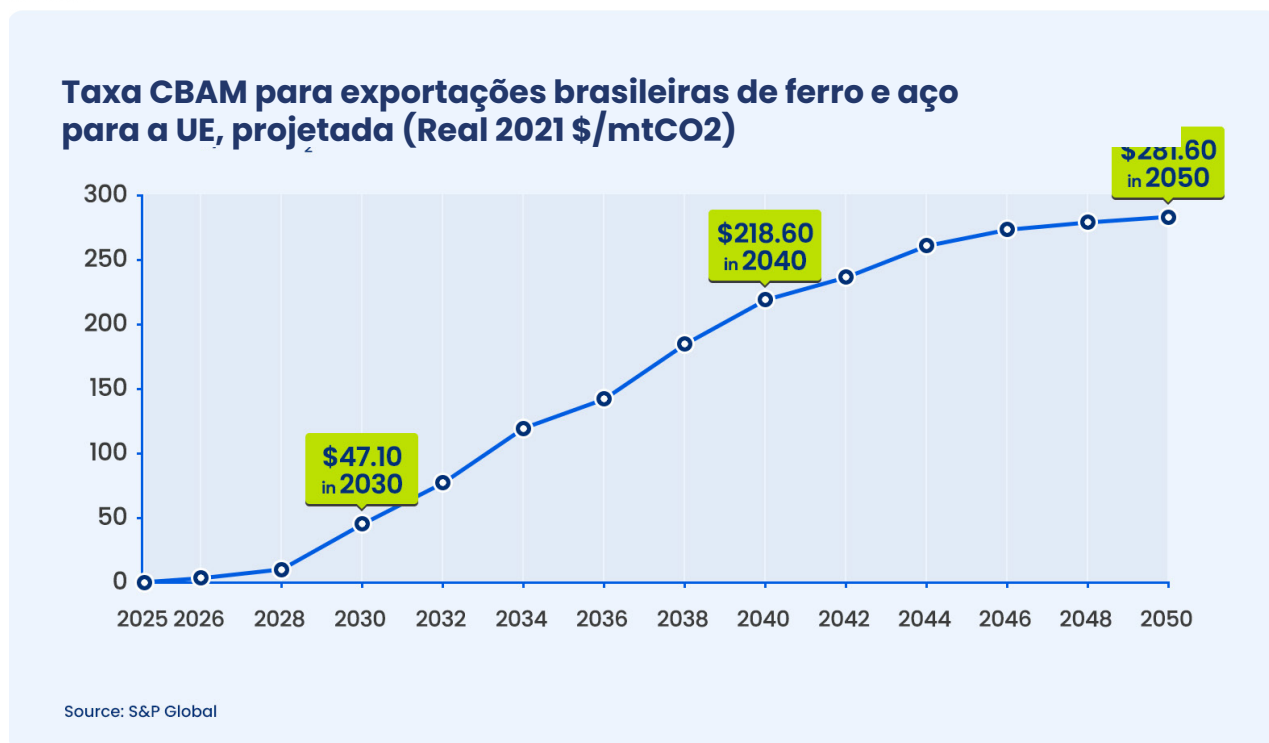
Obrigações de mitigação do CBAM



Source: S&P Global

A S&P Global prevê que as taxas que as siderúrgicas brasileiras terão de pagar para exportar produtos sem abatimento para a UE podem se aproximar de € 281,60 por tonelada (t) de dióxido de carbono até 2050, em comparação com nada hoje (Figura 2). Dada a crescente importância do mercado europeu para as siderúrgicas brasileiras, o CBAM poderia potencialmente impulsionar esforços significativos de descarbonização no setor.

FIGURE 2



Descarbonização do aço com CCUS

As opções disponíveis para descarbonizar o ferro e o aço são limitadas. Os especialistas consideram esse setor um dos mais difíceis de reduzir as emissões, estão entre os setores de difícil abatimento de emissão (hard-to-abate), devido tanto à sua dependência de combustíveis fósseis para gerar as altas temperaturas necessárias para o provimento de calor nos altos fornos, quanto ao dióxido de carbono emitido na conversão do ferro em aço.

Isso está incentivando as principais siderúrgicas a considerar o CCUS como uma alavanca de descarbonização. O Baowu Group da China, o maior produtor de aço do mundo, está considerando um plano que poderia armazenar dezenas de milhões de toneladas de dióxido de carbono por ano, a ArcelorMittal, enquanto a segunda maior siderúrgica global sediada em Luxemburgo, também considera o CCUS na sua trajetória de descarbonização. A

Agência Internacional de Energia (AIE) projeta que o CCUS contribuirá com cerca de 15% da descarbonização total do setor siderúrgico até 2060, o que levará o CCUS a assumir crescente importância para o setor, caso a projeção se confirme.

Bioetanol

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos, e representa 27% do volume global desse combustível. O país implementou uma Política Nacional de Biocombustíveis, o RenovaBio, para apoiar o ecossistema. Os distribuidores de combustíveis devem adquirir créditos de descarbonização (CBI-Os) de acordo com as metas obrigatórias estabelecidas pelo governo brasileiro, que aumentarão com o tempo (Figura 3). Os produtores de biocombustíveis, como o etanol, emitem CBI-Os, que representam uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) evitado em relação a uma

linha de base de combustível fóssil. Os CBIOS podem ser negociados no mercado aberto, com preços determinados pela oferta e demanda (Figura 4).

FIGURE 3

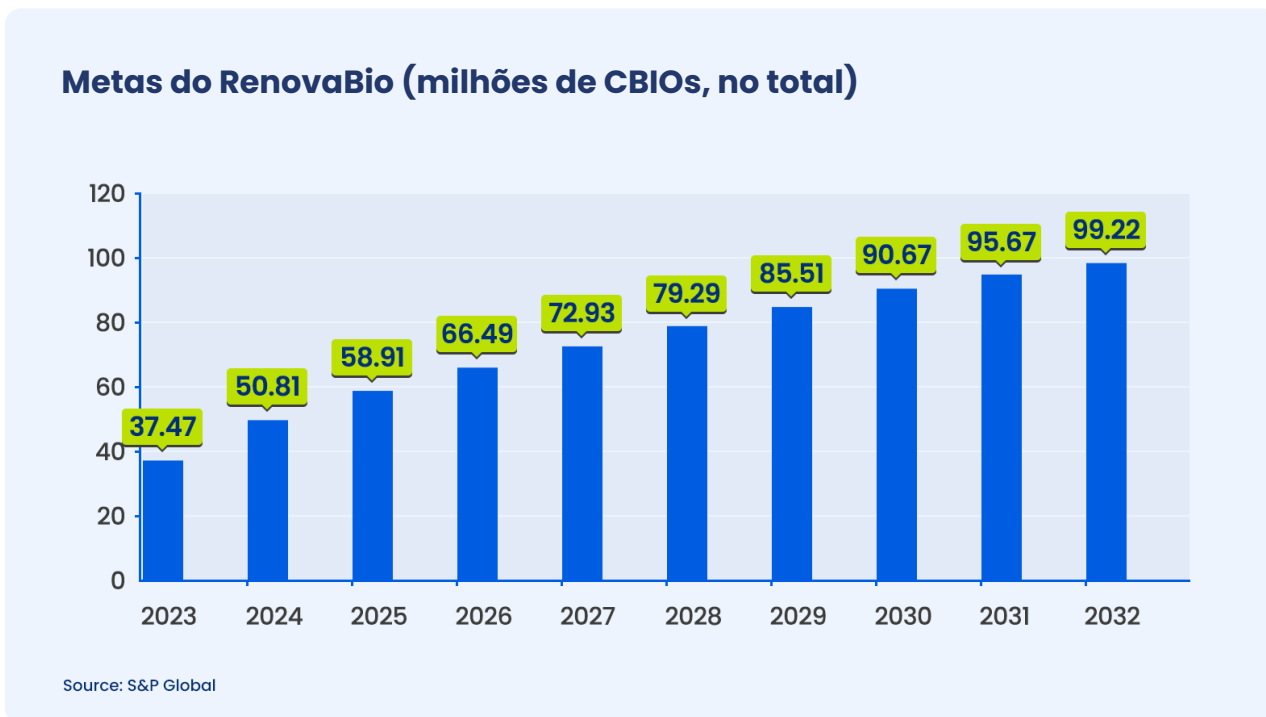
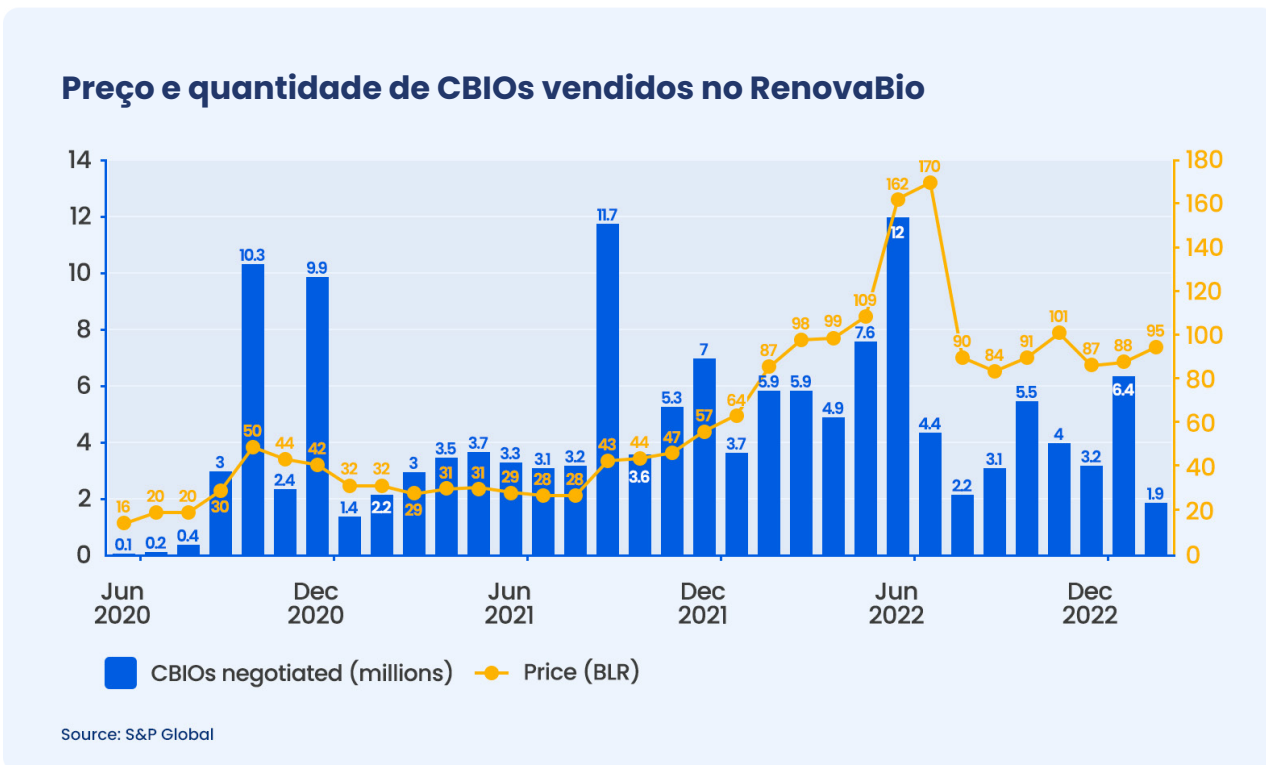


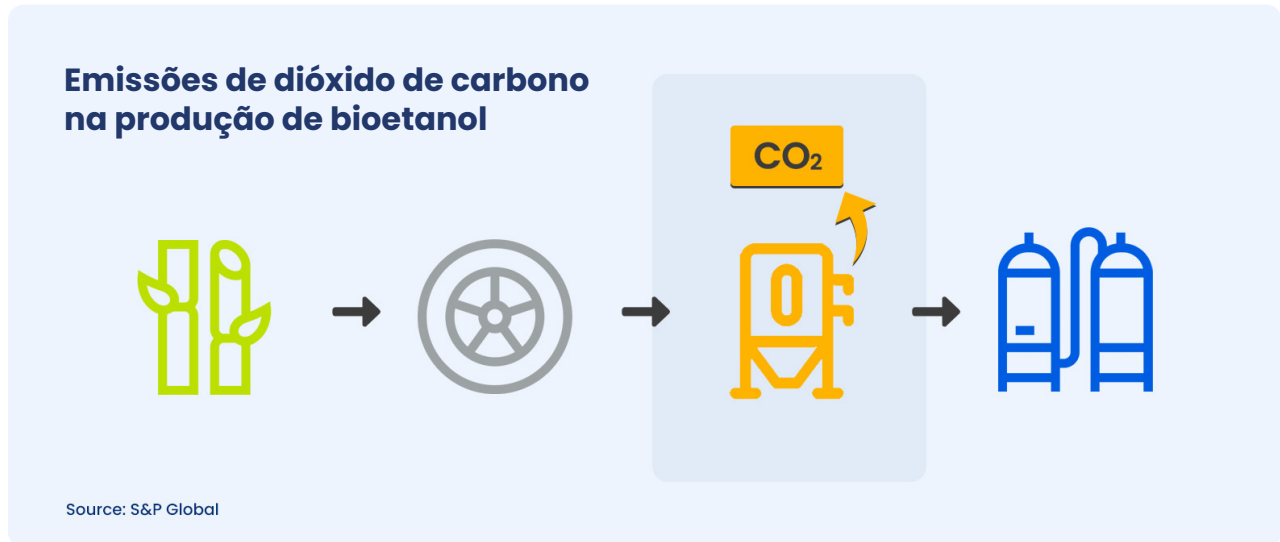
FIGURE 4



O preço cada vez mais alto dos CBIOS, e que se espera ultrapassar o valor de US\$ 50/tCO₂e no início da década de 2030, pode estimular uma maior adoção de métodos de descarbonização, inclusive o CCUS, ao longo da cadeia de suprimentos de biocombustíveis. Isso inclui a captura do dióxido de carbono liberado durante a conversão (incluindo processos de fermentação) da biomassa (no caso do Brasil, geralmente a cana-de-açúcar)

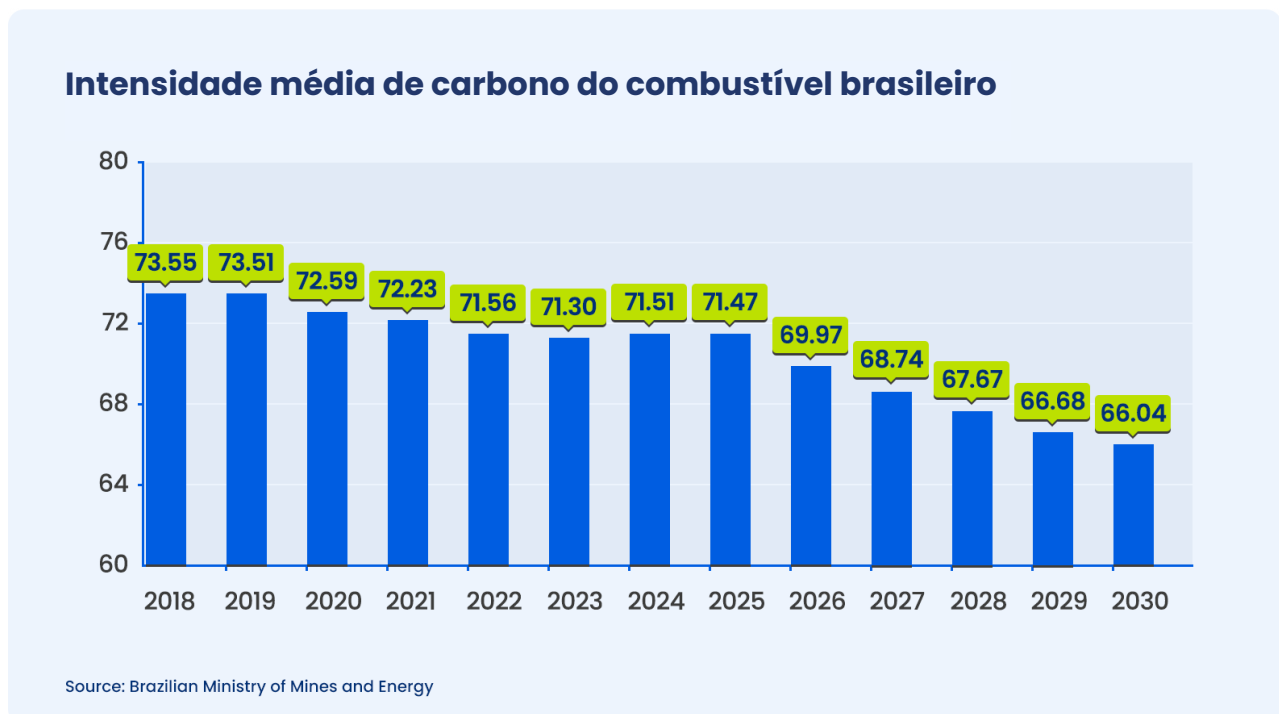
em etanol (Figura 5). Essa corrente de dióxido de carbono emitida apresenta um alto grau de pureza, o que leva o seu processo de captura a ser muito mais barato do que o de outras fontes. Adicionalmente, a planta de etanol como um todo apresenta um potencial de ser parte de um processo de bioenergia, integrado com a captura e armazenamento de carbono (BECCS), uma vez que o resíduo de biomassa é aproveitado para geração de calor e eletricidade para a própria planta, portanto, as emissões dessa queima também poderiam ser capturadas.

FIGURE 5



O crescimento do CCUS – incluindo o BECCS, que, segundo a AIE, deve atingir 190 Mt/ano globalmente até 2030, para que o mundo atinja um balanço de emissões líquidas zero até 2050 – pode ser um fator que ajudará a reduzir a intensidade média de carbono do mix total de combustíveis do Brasil, uma alavanca fundamental da estratégia de descarbonização mais ampla do país (Figura 6).

FIGURE 6



Isso também ajudará a impulsionar as perspectivas do etanol brasileiro em mercados internacionais com seus próprios padrões de combustível de baixo carbono (low-carbon fuel standards, LCFSs). A Califórnia é um exemplo proeminente: em 2009, foi a primeira jurisdição do mundo a implementar um LCFS, que foi atualizado em 2019 para permitir combustíveis descarbonizados via CCUS. Ele fornece créditos para os produtores de combustíveis – incluindo aqueles sediados fora do estado – cujos produtos atendem ou ficam abaixo de um nível de intensidade de carbono definido pelos reguladores estaduais. Esse nível diminuirá com o tempo. A modelagem indica que o valor do crédito poderia ultrapassar US\$ 200/tCO₂e até 2040. O etanol brasileiro à base de cana-de-açúcar já está presente no estado da Califórnia devido à sua menor pegada de carbono em comparação com o etanol à base de milho, predominante no Centro-Oeste dos Estados Unidos. O CCUS tem o potencial de aumentar ainda mais a sua popularidade, bem como o prêmio de preço que os produtores brasileiros podem desfrutar no mercado da Califórnia. Isso, combinado com os CBIOS, poderia ajudar a compensar o custo do CCUS do etanol, que está em torno de US\$ 75/tCO₂e, incluindo transporte.

Outros Setores

Embora o caso econômico para a adoção do CCUS nos setores de ferro e aço e de etanol do Brasil seja convincente, as tecnologias de CCUS podem capturar carbono de praticamente qualquer fonte pontual de emissões, o que lhes confere ampla aplicabilidade em diversos setores industriais. De acordo com a análise da S&P Global, outros setores no Brasil que também poderiam se beneficiar da adoção do CCUS incluem cimento, refino de petróleo, amônia, metanol, geração de energia e processamento de gás. A posição global do Brasil em cimento e refino de petróleo, em particular, é significativa e está em crescimento.

Cement

O Brasil é o sétimo maior produtor mundial desse bem essencial. A indústria de cimento [representa](#) cerca de 8% das emissões globais e enfrenta um caminho particularmente difícil em direção à descarbonização, devido à grande parcela de dióxido de carbono liberada pelo próprio processo industrial, mais do que pelo uso de energia. O CCUS pode ser capaz de preencher grande parte dessa lacuna, e a [AIE prevê](#) que ele será responsável por 18% das reduções de emissões do setor globalmente até 2060. Isso está estimulando várias das principais empresas de cimento, incluindo a [Holcim](#), a maior produtora do mundo, a integrarem as tecnologias de CCUS. A HeidelbergMaterials, outra grande empresa, está trabalhando em uma planta na [Noruega](#) que poderá capturar 400.000 toneladas

de dióxido de carbono por ano a partir de 2024.

Refino de petróleo

Novas descobertas aumentaram significativamente as reservas conhecidas de petróleo do Brasil nos últimos anos, tornando-o um dos dez maiores produtores de combustíveis líquidos do mundo, com uma capacidade de refino anual de 2,3 milhões de barris por dia. Com um possível aumento na capacidade de refino de petróleo nacional, o CCUS apresenta um potencial de redução das emissões geradas nesse processo. Mundialmente, o refino é responsável por cerca de [5%](#) das emissões globais de gases de efeito estufa, o que significa que qualquer redução em sua pegada de carbono poderia contribuir significativamente na luta contra as mudanças climáticas.

02

**CONSTRUINDO CENÁRIOS,
SUPERANDO BARREIRAS**

CCUS no Brasil: Considerações para um hub

CCUS no Brasil: Considerações para um hub

O que é um hub de CCUS?

O CCUS é uma atividade intensiva em capital que requer recursos significativos e conhecimento técnico. Sua cadeia de valor pode ser dividida em três componentes:

- 1. Captura:** o dióxido de carbono é separado de outros compostos químicos presentes nos gases emitidos durante uma atividade industrial, antes que o mesmo seja lançado na atmosfera.
- 2. Transporte:** o dióxido de carbono é transportado do ponto de captura para um local de armazenamento.
- 3. Armazenamento:** o dióxido de carbono é armazenado em reservatórios geológicos, devendo ser adotada uma seleção e gestão adequada do reservatório de modo que o dióxido de carbono seja armazenado de forma permanente, sem ocorrência de vazamento.

Considerações complexas estão presentes em cada etapa, tornando difícil para uma única empresa propor o desenvolvimento de toda a cadeia de valor de um projeto de CCUS. Especialmente em relação ao armazenamento geológico, o CCUS se beneficia dos ganhos de escala que um consórcio de empresas pode proporcionar. Muitos locais de armazenamento viáveis são enormes reservatórios geológicos, em que uma única empresa teria dificuldade de preencher. A infraestrutura de transporte – geralmente na forma de dutos ou navios – também é mais econômica quando vários parceiros trabalham juntos em cooperação e co-investimento.

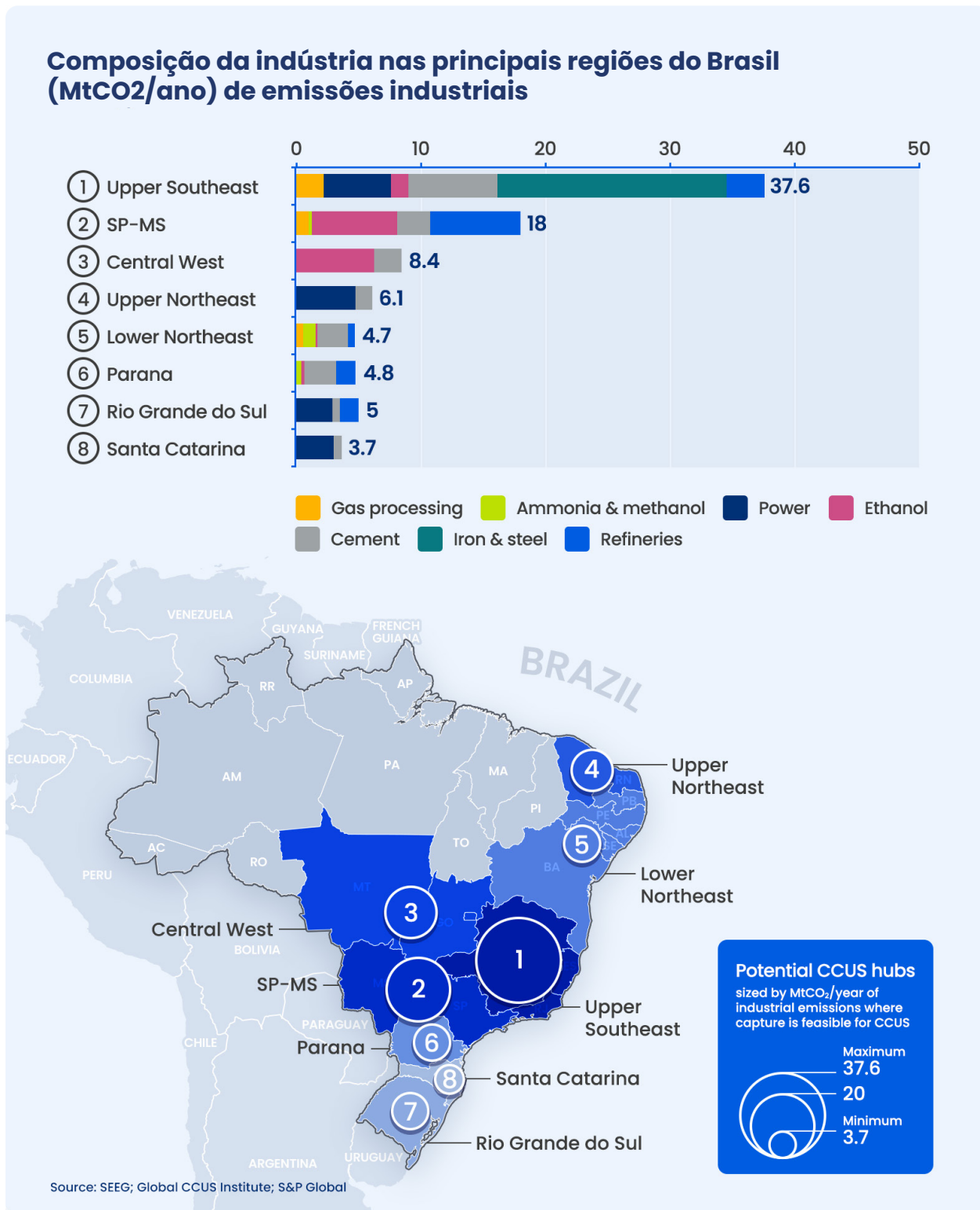
Neste contexto é que entram os hubs de CCUS: são conjuntos de instalações industriais, todas conectadas a um único aparato compartilhado de transporte e armazenamento. Vários países estão hospedando hubs de CCUS ativos ou em desenvolvimento (consulte o Capítulo 4) para oferecer as condições adequadas para atender às necessidades de descarbonização industrial e às metas de balanço líquido zero de emissões.

As condições podem ser favoráveis para a criação de um hub no Brasil

Grande parte da população e da atividade industrial do Brasil está concentrada nas áreas costeiras do sudeste do país. Uma significativa atividade de ferro e aço, em particular, ocorre em um grupo de três estados – Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais – denominados coletivamente pela S&P Global como Alto Sudeste. A produção

de etanol, por sua vez, está concentrada em duas regiões: SP-MS, composta pelos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, e Centro-Oeste (composta pelos estados de Goiás, Distrito Federal e Mato Grosso) (Figura 7).

FIGURE 7



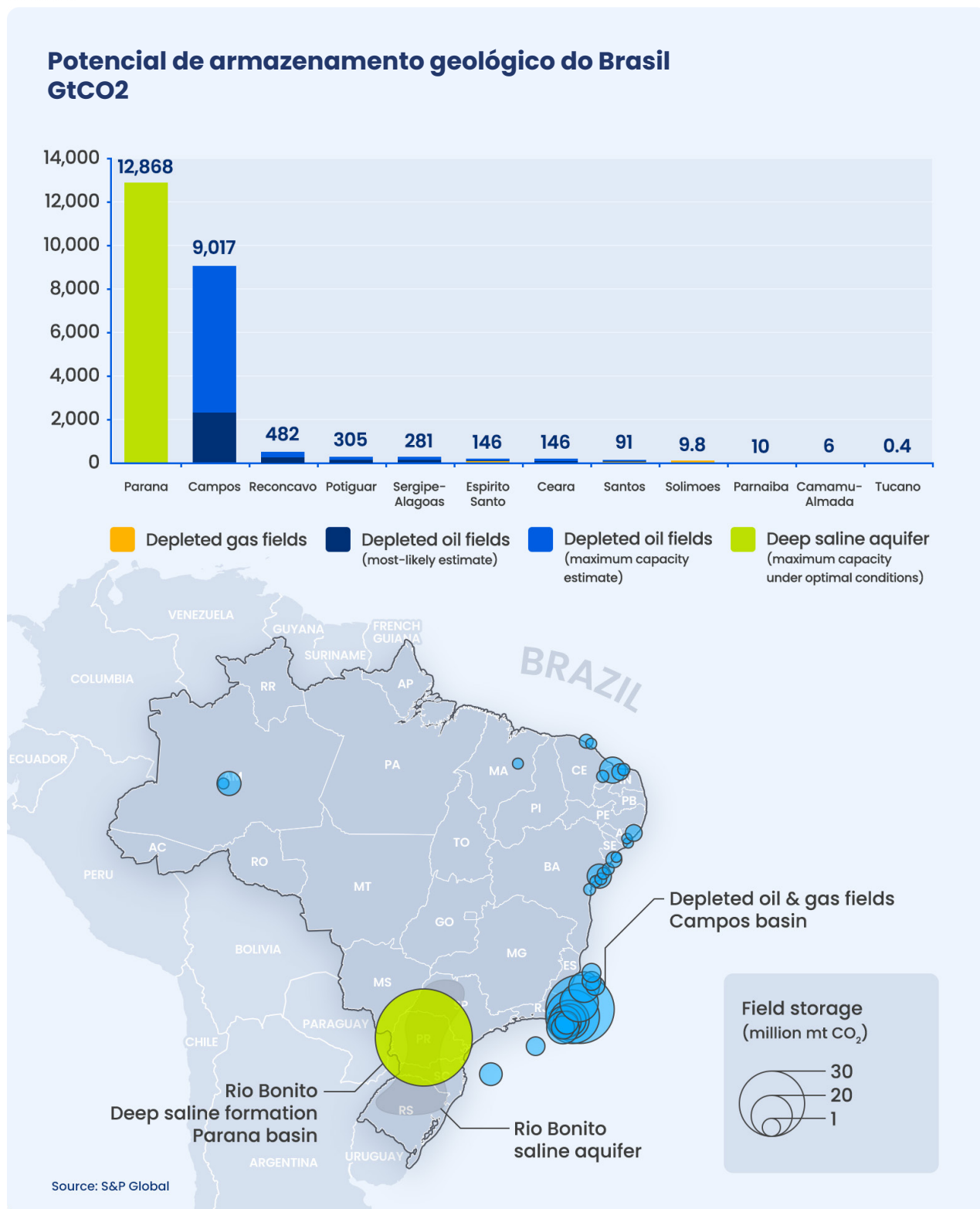
A análise global da S&P dos dados existentes revelou oito locais com potencial para armar uma parcela significativa das emissões desses e de outros setores descritos acima.¹

NOTA DE RODAPÉ

¹ Não foram realizadas pesquisas originais no local para este estudo; a adequação potencial como reservatório de dióxido de carbono pode diferir das descobertas convencionais de reservatórios geológicos.

Foi identificada uma capacidade substancial em duas áreas em particular: os campos de petróleo e gás depletados de Campos, na costa do Alto Sudeste, e a bacia do Paraná, onde uma enorme formação salina profunda possui um potencial de mais de 12 gigatone-ladas (Gt) de dióxido de carbono (Figura 8). Os dados públicos sobre essa formação salina são praticamente inexistentes, mas a Petrobras tem realizado estudos preliminares de subsuperfície para melhor compreender os recursos de armazenamento. Essa combinação de emissões industriais altamente concentradas e vasto potencial de armazenamento posiciona essas áreas como candidatas para um hub de CCUS, desde que vários obstáculos possam ser superados.

FIGURE 8



Barreiras ao desenvolvimento de um hub no Brasil

O Brasil enfrenta uma série de desafios para implementar um hub de CCUS. Esses fatores têm gerado hesitação entre os possíveis participantes industriais e devem ser superados para estimular a criação de uma cadeia de valor de CCUS semelhante à de seus pares no exterior. As barreiras geralmente se dividem em três categorias: **financeiras e comerciais, regulatórias e tecnológicas.**

Financeiras e comerciais

- Os riscos intersetoriais tornam o investimento desafiador para um investidor típico. Todos os elos da cadeia de valor – desde a planta de captura até os ativos de transporte e armazenamento – devem estar operando simultaneamente para que o hub de CCUS funcione.
- O CCUS requer um alto investimento de capital intensivo e o custo do capital é crucial para melhorar a viabilidade econômica do projeto.
- Alternativas que não sejam de CCUS (por exemplo, otimização da planta, troca de combustível, energia renovável) podem, às vezes, ser implantadas a um custo menor e com fluxos de valor incrementais; o CCUS é um custo (a menos que o carbono capturado possa ser monetizado) e deve ser justificada com sinais claros de preço ou incentivos.

Regulamentação

- Atualmente, o Brasil carece de regulamentações para o CCUS. No entanto, existem projetos de lei em curso, em vias de aprovação.
- Um projeto de lei sobre o mercado de carbono no Brasil está em discussão no Congresso.

Tecnológicas

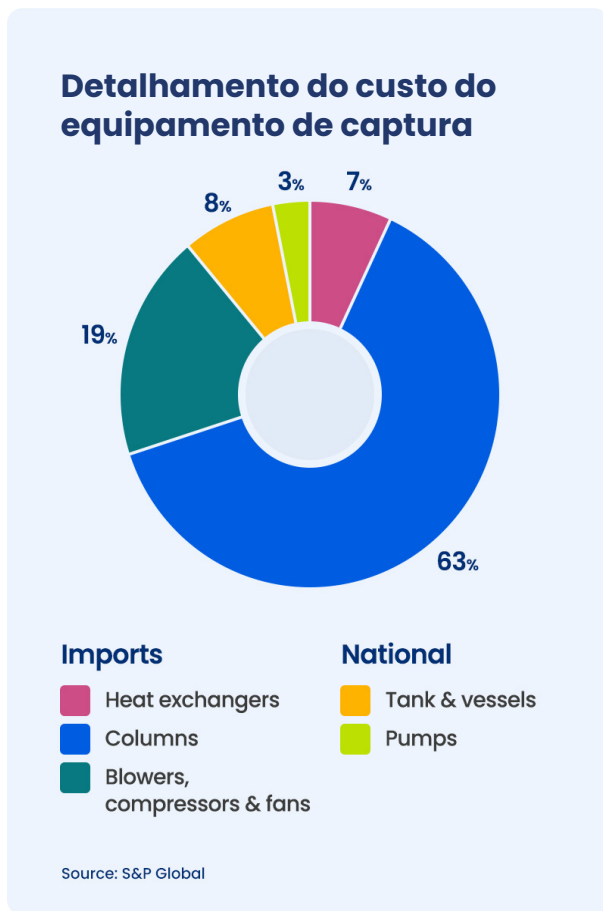
- A tecnologia de CCUS é comprovada, mas os custos permanecem significativamente altos para os operadores brasileiros.
- O roadmap de redução de custos da tecnologia ainda não está claro (veja a próxima seção).
- A tecnologia de captura é menos eficiente quando instaladas em projetos já existentes do que quando já projetadas para novos projetos.

Contornando a curva de custos de CCUS no Brasil

A adoção de políticas públicas é necessária não apenas para estimular o tipo de coordenação da cadeia de valor que os operadores do CCUS exigem, mas também para ajudar a reduzir os custos tecnológicos. Em alguns casos, isso poderia ser uma forma de créditos e subsídios fiscais nos moldes da Lei de Redução da Inflação (Inflation Reduction Act, IRA) dos EUA. Embora alguns fatores que afetam o custo da tecnologia estejam sujeitos a tendências globais, o Brasil precisa enfrentar duas barreiras fiscais relacionadas a políticas que impedem economias substanciais para os desenvolvedores de hubs: altos impostos de importação e alto custo médio ponderado de capital (weighted average cost of capital, WACC).

Os impostos são a primeira barreira. De acordo com os cálculos da S&P Global, os impostos diretos e indiretos de importação somam uma média de 65% para equipamentos de captura de carbono. Isso ajuda a elevar o custo das importações, fazendo com que elas ocupem uma parcela desproporcional – cerca de 90% - do total de despesas de capital (capex) em equipamentos de captura (Figura 9).

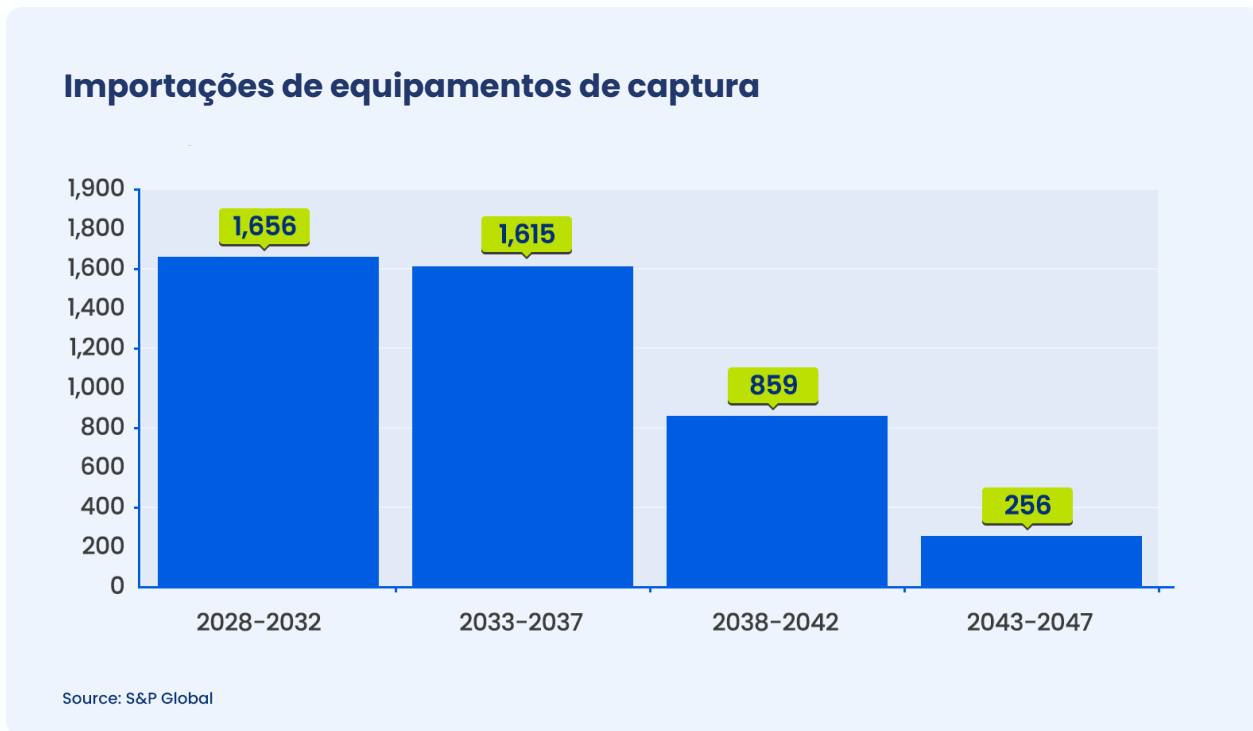
FIGURE 9



A S&P Global projeta que, embora uma cadeia de suprimentos doméstica possa eventualmente reduzir as importações, o que poderá ocorrer pelo menos até o final da década de 2030, o Brasil gastará altas somas em equipamentos importados, com pouca variação, até que o cenário atual não se altere (Figura 10). Isso implica que uma quantia significativa de recursos financeiros, que poderia ser destinada ao desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos local, está sendo gasta em importações e seus impostos associados.

A segunda barreira – WACC elevado – descreve um ambiente de financiamento conservador no qual o capital é escasso e relativamente caro. Isso resulta de uma confluência de fatores, incluindo as perspectivas gerais para o CCUS em meio às crescentes pressões de descarbonização. Políticas públicas poderiam ajudar significativamente para reduzir o WACC para a captura de carbono, que o estudo da S&P Global sugere que poderia ser tão alto quanto 14% sem nenhuma alteração

FIGURE 10



na estrutura regulatória, em comparação com WACCs de um dígito em lugares como o Canadá e os EUA. Adicionalmente, um arcabouço regulatório claro – cujos modelos potenciais serão explorados mais detalhadamente no Capítulo 4 – poderia reduzir quatro pontos percentuais desse valor, segundo a modelagem da S&P Global. Combine isso com a revogação dos impostos de importação e a economia poderá ser substancial.

03

CONSTRUINDO CENÁRIOS,
SUPERANDO BARREIRAS

O caso comercial
e econômico do
CCUS





CAPÍTULO TRÊS

O caso comercial e econômico do CCUS

O contexto global

A descarbonização industrial pode apresentar uma perspectiva intimidadora para as empresas cujos modelos de negócios dependem de combustíveis fósseis e de emissões sem abatimento. A AIE projeta que 5 milhões de trabalhadores precisarão sair do setor de combustíveis fósseis para que o mundo atinja emissões líquidas zero até 2050; nem todos terão empregos em energia limpa esperando por eles.

Isso torna o CCUS uma maneira atraente para as indústrias manterem suas estruturas operacionais e reduzirem as suas emissões de carbono enquanto planejam as etapas futuras de sua transição energética. Com o surgimento de novas tecnologias e incentivos de mercado, as diferentes opções podem se tornar mais competitivas, mas o CCUS pode fornecer vantagens específicas por meio de mecanismos como mercados de carbono (obrigatórios e voluntários), créditos fiscais, prêmios para produtos de baixo carbono e o próprio dióxido de carbono como commodity. Essa última opção requer a utilização do dióxido de carbono em vez do seu armazenamento, mas pode ser uma opção para os emissores se os mercados de produtos como combustível sintético (que usam dióxido de carbono capturado combinado com hidrogênio) amadurecerem.

Preços premium para produtos de baixo carbono são encontrados atualmente em jurisdições de todo o mundo, como o LCFS da Califórnia. Esses preços premium são frequentemente estimulados por mercados ou regulamentações de carbono. Isso aponta novamente para o papel essencial que os governos desempenham na promoção do tipo de descarbonização que o CCUS pode possibilitar.

Os governos têm vários motivos próprios para apoiar as cadeias de valor do CCUS (Quadro 2). Essas cadeias de valor podem ser parte integrante de uma “transição justa” para longe de uma economia baseada em carbono. Elas podem catalisar novos setores e fornecer escala para inovações nascentes, como a captura direta do ar com armazenamento (direct air capture with storage, DACS). Além de simplesmente fornecer roteiros de descarbonização para a indústria pesada, os hubs de CCUS podem promover efeitos positivos na economia em geral.

Quadro 2: O Aspecto Macroeconômico dos Hubs de CCUS

Há um acúmulo de evidências que apontam para os benefícios macroeconômicos dos hubs de CCUS. Desde a criação e preservação de empregos até o início dos mercados de carbono, os hubs agregam valor para além das ambições climáticas e de descarbonização:

1 Possibilitando uma transição justa.

O papel da indústria de combustíveis fósseis, que pode estar em risco em uma transição para a energia de baixo carbono, pode ser ressignificado com a adoção do CCUS. As habilidades do setor de petróleo e gás, como a exploração de reservatórios geológicos, são uma parte vital das cadeias de valor do CCUS. Da mesma forma, o CCUS pode ajudar as regiões industriais a manter – e até mesmo aumentar – os empregos durante a descarbonização. Isso pode ajudar a minimizar os transtornos causados à comunidade em geral por deslocamentos econômicos, como a perda de empregos.

- Um estudo do Reino Unido estima que o CCUS poderia preservar 53.000 empregos em setores com uso intensivo de energia até 2030.
- Os desenvolvedores do East Coast Cluster, um hub do Reino Unido, incluem várias projeções econômicas para seu projeto:
 - Apoio e/ou criação de cerca de 25 mil empregos na indústria, entre 2023 e 2050
 - Mais de £ 2 bilhões em valor bruto médio agregado até 2050

2 Ampliação dos mercados de carbono

O Artigo 6 do Acordo de Paris estabelece um mecanismo por meio do qual os países podem comprar, vender e negociar créditos de carbono. O objetivo é formar um mercado de carbono robusto que libere incentivos para que o dióxido de carbono permaneça fora da atmosfera. Considerando as imensas quantidades de dióxido de carbono que poderiam ser potencialmente armazenadas em reservatórios geológicos, o CCUS pode servir como um caminho para a formação do mercado de carbono, com os países que possuem recursos significativos de armazenamento geológico podendo gerenciar esses ativos para atender regiões para além desses países.

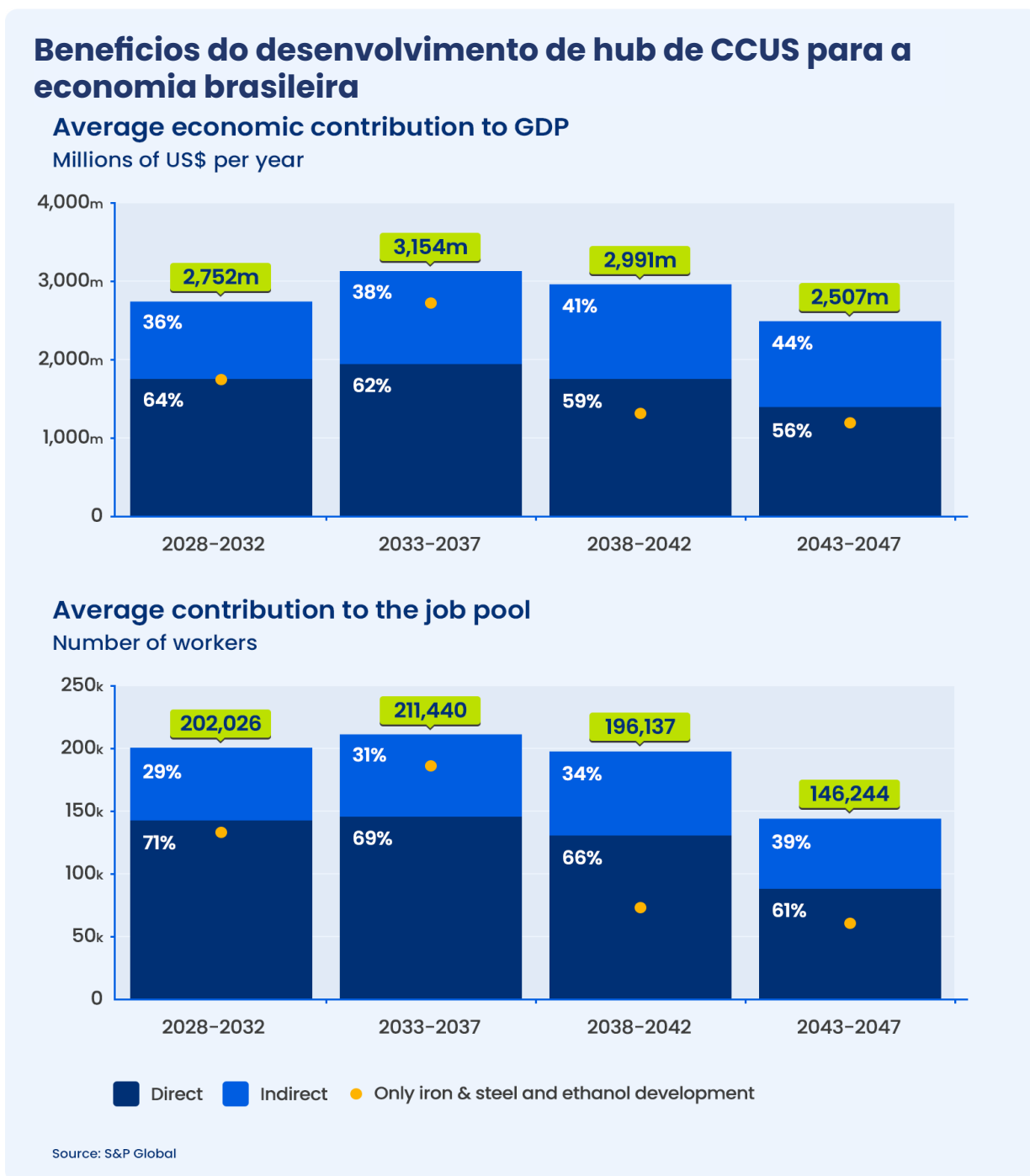
3 Impulsionar o hidrogênio e o DACS

O papel do hidrogênio na descarbonização está crescendo à medida que as indústrias procuram esse versátil transportador de energia para obter potência e calor que não podem ser fornecidas por fontes elétricas. A produção de hidrogênio a partir do gás natural, combinada com o CCUS, é atualmente a maneira mais barata de produzir hidrogênio com baixo teor de carbono, que poderia posteriormente fornecer energia para outras aplicações industriais na área do hub. A infraestrutura pré-existente de transporte e armazenamento também cria uma oportunidade de negócios para instalar plantas de DACS em torno dos hubs de CCUS, o que poderia ajudar a acelerar o desenvolvimento desse setor nascente.

O contexto econômico no Brasil

O Brasil poderia obter benefícios semelhantes de base ampla com o CCUS. De acordo com a modelagem da S&P Global, a implementação bem-sucedida de todos os oito hubs potenciais poderia contribuir com até US\$ 3,2 bilhões por ano para o PIB do Brasil e estimular a criação de 210.000 novos empregos (Figura 11)². A maior parte dos empregos na primeira década ocorreria na instalação dos hubs, enquanto as funções operacionais assumiriam o controle posteriormente. Os efeitos multiplicadores amplificam os benefícios para a economia como um todo, com um PIB de US\$ 819.000 em áreas adjacentes à cadeia de valor do CCUS, gerado para cada US\$ 1 milhão investido em capex ou despesas operacionais (opex) (Figura 12).

FIGURE 11



NOTA DE RODAPÉ

² É assumido o melhor cenário, em que todos os hubs são construídos relativamente rápidos e sem grandes obstáculos

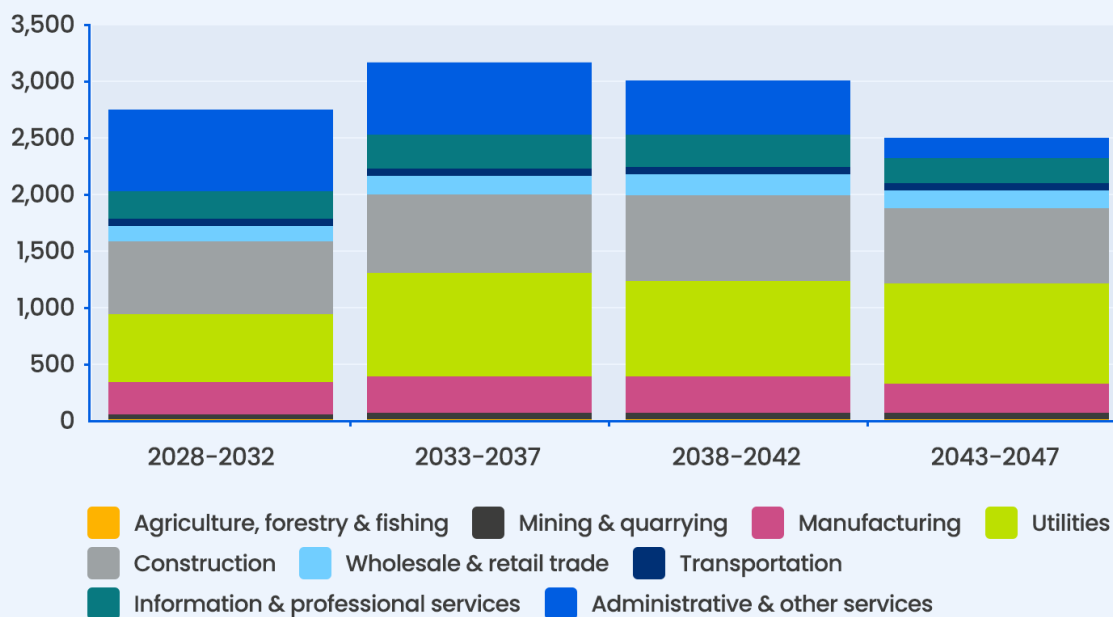
De 2028 a 2037, o capex de construção de plantas e instalação de equipamentos de CCUS sustentaria 83% dos novos empregos, incluindo uma média de 186.000 empregos por ano de 2028 a 2032 e 155.000 empregos por ano de 2033 a 2037. De 2038 a 2042, as atividades de operação e manutenção sustentariam 61% dos novos empregos - uma média de 90.000 empregos por ano, aumentando para 118.000 empregos por ano de 2043 a 2047, à medida que o setor de CCUS continue a crescer. Isso equivale a 53 novos empregos para cada US\$ 1 milhão em gastos diretos de capex ou opex.

Utilidades e construção apresentarão ganhos significativos no PIB com o desenvolvimento do hub, sendo que 29% do valor agregado total será destinado ao primeiro setor (utilidades), que inclui eletricidade, vapor, gás e água. O valor agregado total para esse setor poderia ser de US\$ 18,4 bilhões entre 2028 e 2050, enquanto o setor de construção poderia ser de US\$ 15,8 bilhões em valor agregado no mesmo período.

FIGURE 12

PIB estimulado nas grandes indústrias

Annual average, million \$



Source: S&P Global

04

**CONSTRUINDO CENÁRIOS,
SUPERANDO BARREIRAS**

**O caminho a
seguir**



O caminho a seguir

A promoção de uma cadeia de valor de CCUS depende da disposição dos participantes industriais, inclusive das operadoras de transporte e armazenamento, em se comprometerem com investimentos de longo prazo. Isso requer segurança jurídica, um ambiente de financiamento favorável e entendimentos claros sobre qual modelo de negócio funcionará melhor em um determinado contexto.

Modelos de negócios de hub de CCUS: três opções

Os modelos de negócios dos hubs de CCUS geralmente se enquadram em três categorias: integração vertical total, integração de transporte e armazenamento e operadores independentes.

- **Integração vertical total:** a mesma entidade - uma única empresa, uma joint venture ou uma parceria público-privada - é proprietária e opera todas as etapas do CCUS, incluindo captura, transporte e armazenamento geológico.
- **Integração de transporte e armazenamento (Transport and Storage, T&S):** o emissor instala o equipamento de captura por conta própria ou contrata um fornecedor terceirizado para fazê-lo. Uma entidade separada, por sua vez, é proprietária e opera a infraestrutura de T&S, cobrando por esse serviço para o agente emissor.
- **Operadores independentes:** uma série de operadores de captura, transporte e provedores de armazenamento independentes, com propriedade e operação realizada por entidades distintas, participam em toda a cadeia de valor, cobrando taxas do emissor.

Cada modelo tem vantagens e desvantagens, resumidas na tabela abaixo:

	Benefícios	Desvantagens
Integração vertical total	<ul style="list-style-type: none"> • Controle total sobre o processo • Máxima eficiência e economia de custos 	<ul style="list-style-type: none"> • Limita a entrada de novos participantes àqueles com recursos suficientes para estabelecer uma cadeia de valor completa • Pode enfrentar escrutínio regulatório sobre comportamento anti-competitivo
Integração de T&S	<ul style="list-style-type: none"> • Reduz os custos • Melhora a coordenação entre os componentes de T&S 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor nível de especialização em diferentes conjuntos de habilidades pode levar à redundância e à ineficiência
Operadores independentes	<ul style="list-style-type: none"> • Com diferentes conjuntos de habilidades, as empresas podem se concentrar em uma área e se especializar • Soluções mais flexíveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Introduce vários pontos de atrito e interesses concorrentes entre diferentes empresas • O mais baixo nível de eficiência e economia de custos

Uma combinação dos três modelos pode ser encontrada nos principais hubs globais, embora a integração de T&S seja relativamente popular como um ponto intermediário entre a integração total e a independência total. As empresas de petróleo e gás, em particular, normalmente já têm capacitação, experiência e infraestrutura de T&S prontas. Elas provavelmente tenderão a adotar um modelo de integração de T&S, como visto nos exemplos abaixo:

País	Projeto	Modelo	Patrocinador
UK	East Coast Cluster	Integração de T&S	Captura (C): NZT Power, H2Teesside e Teesside Hydrogen carbon dioxide capture T&S: bp, Equinor e TotalEnergies
UK	HyNet North West	Integração de T&S	C: Padeswood, Runcorn, Prothos, BNLO e HPP1 T&S: Eni
US	Bayou Bend	Integração de T&S	C: indefinido T&S: Chevron, Talos Energy e Equinor
US	Illinois BECCUS	Integração vertical completa	C, T&S: ADM
US	Donaldsonville	Operadores independentes	C: CF Industries T: EnLink Midstream S: ExxonMobil
Noruega	Northern Lights/Longship	Integração de T&S	C: Hafslund e Heidelberg T&S: Northern Lights JV (Equinor, Shell e TotalEnergies)
Holanda	Porthos	Integração de T&S	C: Air Liquide, Air Products, ExxonMobil e Shell T&S: Porthos JV (EBN, Gasunie e Autoridade do Porto de Roterdã)

Um modelo promissor envolve as empresas de petróleo e gás que já possuem infraestrutura de transporte e armazenamento (T&S) que podem ser reaproveitadas, pelo repropósito dos gasodutos existentes e pela adoção dos reservatórios depletados para armazenar o dióxido de carbono. É isso que a Eni pretende fazer na HyNet North West, por exemplo. Por outro lado, a Northern Lights JV - composta pela Equinor, Shell e TotalEnergies - comprimirá e liquefará o dióxido de carbono proveniente de uma variedade de emissores industriais da Europa, transportando-o por navio e armazenando-o em uma formação salina profunda sob o leito marinho do Mar do Norte.

Como reduzir os custos do CCUS

Conforme discutido no Capítulo 2, o Brasil possui algumas notáveis oportunidades que podem ser utilizadas para reduzir o custo do CCUS em setores-chave. Em nível global, as reduções de custo decorrentes do avanço tecnológico e de outros fatores poderiam ajudar a tornar o CCUS ainda mais econômico, somando-se aos benefícios acumulados por uma política tributária favorável e um regime regulatório claro. Em geral, a captura constitui o componente mais caro de um projeto de CCUS. Diversas empresas estão trabalhando em novas formas de captura mais baratas; tecnologias em estágios iniciais de implementação ou em fase de desenvolvimento incluem solventes, membranas e adsorventes avançados, todos os quais poderiam potencialmente solucionar problemas associados aos métodos de captura atualmente utilizados.

Economias também podem ser encontradas em outras partes da cadeia de valor do CCUS, para além da captura. Em comparação com as melhorias na tecnologia de captura, os ganhos nessas áreas podem ser mais incrementais, mas vale a pena ficar de olho nelas:

- **Aperfeiçoamento do Mapeamento de formações salinas profundas:** uma melhor compreensão dos reservatórios geológicos onde o dióxido de carbono pode ser armazenado pode ajudar a aumentar o conhecimento sobre a

qualidade dos reservatórios próximos a clusters industriais. Embora os campos de petróleo e gás depletados possam ser reaproveitados para armazenamento, eles nem sempre estão localizados próximos às fontes de dióxido de carbono. Uma melhor caracterização da subsuperfície poderia ajudar a reduzir as distâncias de transporte.

- **Compressão de dióxido de carbono:** nos processos de captura pós-combustão, uma quantidade significativa de energia é usada para preparar a corrente de dióxido de carbono capturado para o transporte. As correntes de dióxido de carbono de baixa pressão poderiam ser comprimidas em uma fase densa (> 8 megapascal), facilitando o transporte e reduzindo os custos associados.
- **Tecnologias que possibilitam uma alta utilização da infraestrutura compartilhada:** incluem sensores e aplicativos de aprendizado de máquina que podem ajudar os operadores a reduzir tempo de inatividade, detectar desgaste antes que cause problemas, prever cronogramas de uso e, de modo geral, obter o máximo de cada equipamento.

Facilitadores de políticas: o contexto global

Regulamentações de carbono

Os governos de todo o mundo estão criando diferentes vertentes de políticas para incentivar o CCUS. Embora o cenário regulatório no Brasil ainda esteja em desenvolvimento, o país pode aprender com seus pares internacionais, onde os hubs de CCUS já estão implantados ou em desenvolvimento.

No nível mais alto, os países podem promover o CCUS regulamentando as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Isso obrigará os emissores a migrarem para fontes de energia não fósseis ou a capturarem as suas emissões antes que elas sejam lançadas na atmosfera. Os países têm adotado uma série de políticas voltadas para as emissões de GEE, muitas delas envolvendo a adoção de instrumentos de precificação do carbono; em geral, elas se enquadram nas seguintes categorias:

1 Regulação

Os reguladores estabelecem regras e padrões e penalizam a falta de conformidade.

- Por exemplo, um emissor precisa reduzir sua pegada de carbono adotando uma solução tecnológica (ou gestão de emissões) ou pagará uma multa por emissões não controladas.

2 Instrumentos de Precificação

Os órgãos reguladores estabelecem uma taxa sobre as emissões de carbono e/ou estabelecem um esquema ou sistema de comércio de emissões (emissions-trading scheme, ETS).

- **Tributo (Taxação) sobre o carbono:** está diretamente ligado às emissões ou à intensidade de carbono dos insumos. Os governos cobram as taxas para financiar políticas climáticas ou devolver o dinheiro aos contribuintes. Os custos de conformidade podem ser transferidos para produtos e serviços.
- **ETS (esquema ou sistema de comércio de emissões) ou Cap and trade:** às vezes referido como um sistema de cap-and-trade. Um ETS (sistema de comércio de emissões) estabelece um limite total para as emissões de gases de efeito estufa e permite que as indústrias que apresentem baixas emissões vendam suas permissões de emissão excedentes para emissores que emitiram acima da sua quantidade alocada de permissão de emissão. Ao criar oferta e demanda por alocações de emissões, um ETS proporciona um preço de mercado para as emissões de gases de efeito estufa. O limite ajuda a garantir que as reduções de emissões necessárias ocorram para manter os emissores (em conjunto) dentro de seu orçamento de carbono pré-alocado. Uma taxa sobre o carbono estabelece diretamente um preço fixo para o carbono, definido pela tributação sobre as emissões de gases de efeito estufa. É diferente de um ETS no sentido de que o resultado da redução de emissões a partir da adoção de uma taxa sobre o carbono não é pré-definido, mas o seu preço do carbono é.

- Mecanismos de Compensação (baseline and credit):** Essas medidas se concentram apenas em medidas de mitigação positivas. A participação é voluntária e pode ou não se integrar a sistemas regulamentados (como um ETS). Um parâmetro (linha de base) é estabelecido, normalmente com referência a um cenário de continuidade dos negócios (business-as-usual scenario). Uma vez estabelecido esse parâmetro, os proponentes das atividades do projeto geram créditos de carbono ao reduzir suas emissões para níveis inferiores aos da linha de base definida. Isso gera créditos de redução de emissões (offset credits) que podem ser utilizados tanto por entidades regulamentadas (atuando como créditos de compensação -offset- para um ETS), quanto por empresas ou corporações não abrangidas por regulamentações de ETS, que desejam compensar voluntariamente suas emissões.

Viabilizadores de políticas específicas para o CCUS

Para além das regulamentações de emissões, os viabilizadores de políticas específicas para as CCUS podem assumir várias formas. Uma estrutura robusta e com base científica para o uso e a implantação de CCUS costuma ser a primeira etapa de qualquer agenda política; muitos países combinam isso com apoio a P&D, subsídios diretos e muito mais; esses fatores são definidos na tabela abaixo e combinados com vários mercados globais na Figura 13.

Facilitador	Definição	Example(s)
Estrutura robusta	Regras nacionais ou plano estratégico de energia especificando a intenção de capturar/transportar/armazenar dióxido de carbono ou acelerar o desenvolvimento da tecnologia de CCUS	<ul style="list-style-type: none"> Noruega: regulamentação de transporte e armazenamento de dióxido de carbono Reino Unido: Meta de 20-30 MtCO₂/ano de CCUS até 2030
Padrões de dióxido de carbono	Regulamentações destinadas a reduzir as emissões de dióxido de carbono em toda a economia (consulte a seção acima)	<ul style="list-style-type: none"> Reino Unido: Padrões de desempenho de emissões de dióxido de carbono de veículos rodoviários
Apoio a P&D	Qualquer iniciativa de P&D que possa fornecer inovação e tecnologia para o CCUS	<ul style="list-style-type: none"> Noruega: SkatteFUNN
Créditos fiscais	Crédito para captura e armazenamento/utilização de dióxido de carbono para compensar parte do investimento e/ou despesas de pesquisa qualificadas para o CCUS	<ul style="list-style-type: none"> EUA: 45Q
Subsídios/financiamento direto	Ajuda financeira que apoia diretamente os projetos de CCUS	<ul style="list-style-type: none"> Holanda: SDE++
Garantia de captação/armazenamento de dióxido de carbono	Garantia de viabilidade comercial do CCUS, necessária para atrair capital privado e limitar o risco de preço	<ul style="list-style-type: none"> Reino Unido: Contratos por diferença (CfD)

FIGURE 13

Países com políticas de apoio ao CCUS

	Robust framework	CO ₂ standards	R&D program	Tax credits	Grants/funding	CO ₂ offtake/storage guarantee
Australia	X		X			X
Canada		X	X		X	
China		X				
France	X	X	X			
Japan	X		X	X		X
Netherlands	X		X		X	
Norway	X		X		X	
Saudi Arabia			X			
UAE			X			
UK	X	X	X		X	X
USA	X		X	X	X	

Source: S&P Global

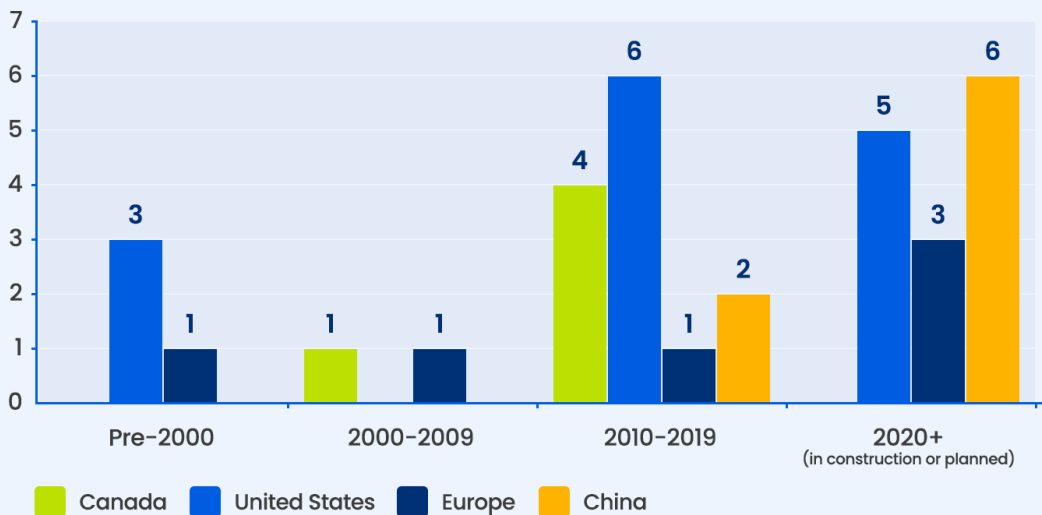
Exemplos nacionais de apoio à CCUS

Embora não exista um modelo único de incentivos políticos para o CCUS, as lições aprendidas em determinados países podem ser instrutivas para nações como o Brasil, que ainda estão nos estágios iniciais de formulação de sua estrutura regulatória e esquemas de incentivo. Os hubs de CCUS estão avançando, em grande parte, graças a essas estruturas de apoio (Figura 14).

FIGURE 14

Evolução dos Projetos de CCUS ao longa das décadas

Número de projetos*



(Fonte: S&P Global)

*Excluindo projetos-piloto; os projetos da Europa incluem três na Noruega e um na França, na Holanda e no Reino Unido.

- O conjunto de instrumentos do Canadá inclui um preço sobre o carbono e créditos fiscais de investimento para o CCUS. A província de Alberta e Saskatchewan também concederam subsídios. Alberta, em particular, foi uma das pioneiras, alterando sua Lei de Minas e Minerais em 2010 para permitir que o governo provincial assumisse a responsabilidade de longo prazo pelos locais de armazenamento e criasse um fundo de administração pós-encerramento das atividades de injeção.
- Em 2016, a China incluiu a captura de carbono entre suas áreas de foco estratégico para seu 13º Plano Quinquenal. Desde então, as autoridades instruíram o banco central a emitir empréstimos de baixo custo para projetos de mitigação de carbono, incluindo o CCUS.
- A **UE** estabeleceu várias políticas pró-CCUS, incluindo um Esquema/Sistema de Comércio de Emissões (ETS) e um Mecanismo de Ajuste de Fronteira para o Carbono (CBAM) (consulte o Capítulo 1), subsídios para inovação, licenciamento acelerado para projetos transfronteiriços e metas quantitativas para armazenamento de carbono (50 Mt/ano até 2030). Em geral, esses incentivos se somam aos incentivos individuais de cada país.
- O principal facilitador de CCUS da **Holanda** é o SDE++, que concede subsídios implementados com base em um contrato por diferença (CfD). O principal projeto de CCUS do país, o Porthos, se beneficia de um subsídio de 2,1 bilhões de euros para a captura, dividido entre capex e opex. Várias empresas estatais também fazem parte do consórcio que gerencia o transporte e armazenamento (T&S) do Porthos, incluindo a [EBN](#) e a Autoridade do [Porto de Roterdã](#).
- A **Noruega** tem investido recursos no Longship, que provavelmente será o primeiro hub de CCUS do mundo a entrar em operação, o que ocorrerá em meados de 2024. Isso inclui mais de 2 bilhões de euros na fase de implantação do projeto e em dois projetos de captura noruegueses.
- O **Reino Unido** estabeleceu várias fontes diretas de financiamento para o CCUS. Isso começou com £1 bilhão para financiar quatro clusters (atualmente o HyNet North West, o East Coast Cluster, o Acorn CCS e o Viking T&S), cada um deles em diferentes estágios de planejamento e avaliação. O valor do financiamento aumentou para £30 bilhões nos próximos 20 anos, com o objetivo de armazenar 20-30 Mt/ano. Os hubs do Reino Unido também se beneficiam de um CfD apoiado pelo governo.
- O principal instrumento dos **EUA** para o desenvolvimento de CCUS é o crédito fiscal de investimento, o 45Q. Introduzido pela primeira vez em 2008, ele foi revisado várias vezes, mais recentemente como parte do IRA, que aumentou o valor do crédito, estendeu a janela de tempo para implantação e simplificou o processamento de pagamentos. Os EUA também concedem subsídios para várias atividades ao longo da cadeia de valor do CCUS, principalmente P&D, e apoiam vários hubs de DACS.

Estruturas regulatórias sólidas também permitem uma transparência na supervisão e no compartilhamento de riscos dos projetos de CCUS. Para tanto, a tabela a seguir apresenta exemplos institucionais de mecanismos de supervisão e de compartilhamento de riscos:

Jurisdição	Países Baixos	Noruega	Reino Unido	EUA (Texas)
Autoridade de licenciamento	Ministério de Assuntos Econômicos e Política Climática	Ministério de Petróleo e Energia, Diretoria Norueguesa de Petróleo	Autoridade de Transição do Mar do Norte	Comissão de Ferrovias do Texas, School Land Board*
Obrigações de Monitoramento	Operador: durante as operações e por 20 anos após o fechamento Estado: pelos 30 anos seguintes	Operador: durante as operações e por 20 anos após o fechamento Estado: pelos 30 anos seguintes	Operador: durante as operações e por 20 anos após o fechamento Estado: cronograma e atividades de monitoramento discricionário	Operador: durante as operações e até a demonstração de que o local de armazenamento não colocará em risco os reservatórios geológicos de água potável
Responsabilidades pós-encerramento	Transferido para o órgão regulador 20 anos após o fechamento do local*	Transferido para o órgão regulador 20 anos após o fechamento do local*	Transferido para o órgão regulador -Department for Energy Security & Net Zero - 20 anos após o fechamento do local*	Transferido para o School Land Board imediatamente após o fechamento do local*

* O prazo pode ser reduzido a critério do regulador

** Em águas estaduais até nove milhas náuticas da costa

Potenciais viabilizadores de políticas para o Brasil

O projeto de lei "Combustível do Futuro", apresentado em setembro de 2023 e atualmente em processo legislativo, oferece um cenário promissor baseado em metas para a captura e armazenamento de carbono. Ele confere à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, como órgão regulador, flexibilidade suficiente para se adaptar aos avanços na indústria incipiente de CCUS.

Embora não aborde incentivos políticos, o Brasil tem a oportunidade de aproveitar o sucesso das políticas implementadas em outros locais. A melhor combinação de políticas inclui suporte em várias etapas de implementação, incluindo pesquisa e desenvolvimento, projetos pilotos e de escalonamento. Além disso, é importante ressaltar que medidas de política de incentivo mais direcionadas podem eventualmente ser retiradas à medida que os negócios de CCUS se tornem autossustentáveis.

A S&P Global compilou opções para a implantação de políticas de CCUS no Brasil, agrupadas por estágio de implementação (P&D, piloto e escalonamento):

P&D	Piloto	Ampliação
Financiamento público/subvenções para P&D	Apoio contínuo e ampliação do RenovaBio	
Categorização do CCUS como uma categoria de P&D que empresas de exploração e produção de petróleo e gás devem investir de acordo com a legislação brasileira atual	Investimento do governo em dutos de dióxido de carbono	
Política industrial de baixo carbono para promover o desenvolvimento da cadeia de suprimentos local		
Incentivos fiscais (créditos fiscais, preço do carbono)		
Obrigações de captura e armazenamento		
Apoio do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) do Brasil, possivelmente em colaboração com o Banco Mundial		
	Estrutura legal e regulatória simplificada para armazenamento subterrâneo	
	Impostos de importação e taxas alfandegárias mais baixos - ou isenção total - para equipamentos e serviços	
	Direito de acesso de terceiros à infraestrutura essencial para o transporte de CO ₂	
		Esquema/Sistema de Comércio de Emissões (ETS) totalmente operacional
		Mudanças nos códigos de construção que incentivem o cimento e/ou o aço com baixo teor de carbono
		Prêmios de preço para produtos de baixo carbono



CONCLUSÃO

Aproveitando a oportunidade

Os hubs de CCUS são empreendimentos complexos que exigem o engajamento contínuo de uma ampla gama de partes interessadas. No entanto, eles podem sustentar as ambições de descarbonização de indústrias e regiões, à medida que vários atores buscam essa alavanca vital para atingir suas metas climáticas. Os hubs podem ajudar os projetos de CCUS a se beneficiarem de poderosas economias de escala que compartilham os riscos e reduzem os custos.

No Brasil, os fundamentos de dois setores em particular – setor de ferro e aço e setor de etanol - dão credibilidade aos argumentos a favor de um hub de CCUS. Ambos os setores poderiam se conectar a recursos colossais de armazenamento geológico na região sudeste do país. Ambos podem precisar do CCUS para permanecerem competitivos nos mercados globais, onde os produtos fabricados por meio de processos convencionais enfrentarão a concorrência crescente de uma gama de alternativas mais sustentáveis. Se puderem se descarbonizar de acordo com as metas internacionais, as oportunidades de crescimento, especialmente no setor de etanol do Brasil, são tentadoras.

Além dos benefícios para esses dois campos, outros setores e a economia como um todo do Brasil têm o potencial de se beneficiarem, com a criação de empregos e aumento do PIB em setores adjacentes ao desenvolvimento do hub. Isso reflete as expectativas dos desenvolvedores de hubs em mercados internacionais, como o Reino Unido, que veem um papel importante para o CCUS na manutenção da vitalidade e da contribuição econômica de toda a cadeia de valor de clusters industriais.

Para que essas projeções se concretizem, o Brasil precisa superar vários desafios. As políticas tributária, fiscal e regulatória devem ser reformadas para reduzir os custos dos CCUS, oferecer segurança e previsibilidade, e demonstrar o compromisso do governo com os hubs de CCUS. Os pioneiros em CCUS, como os EUA e a UE, fornecem exemplos abrangentes desse tipo de apoio que o Brasil pode se espelhar.

Essa oportunidade surge no momento em que as crescentes obrigações do Brasil, no âmbito do Acordo de Paris, aumentam a necessidade de uma descarbonização rápida e sistêmica. O tempo está passando para a implementação da trajetória que visa atender às ambições do país. A implantação de um ou mais hubs de CCUS podem ajudar a transformar essas ambições em realidade.

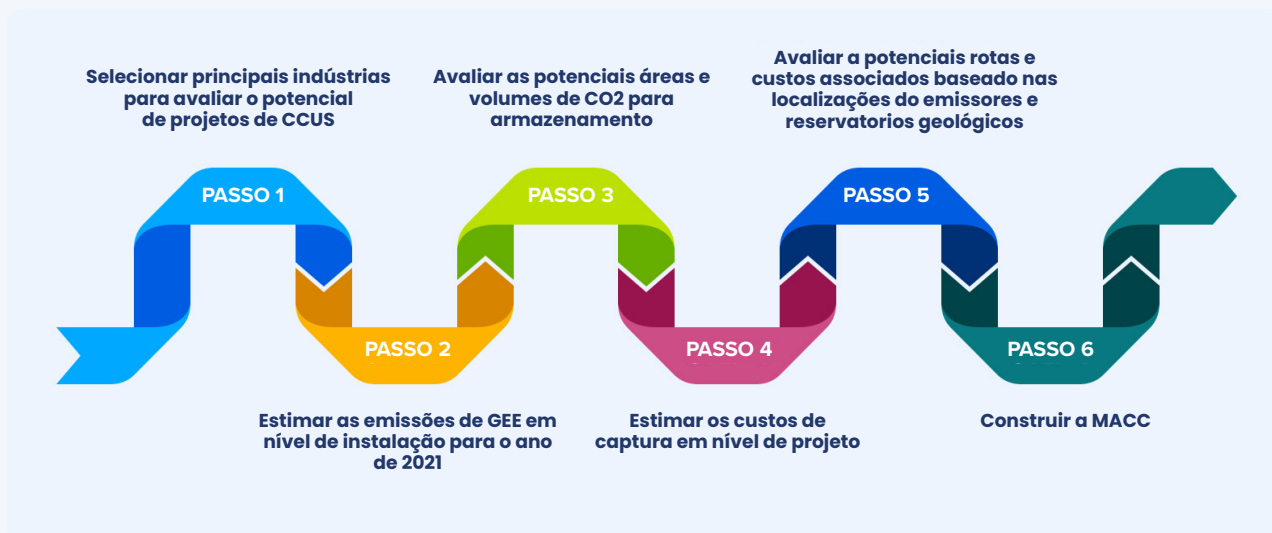
Apêndice: Metodologia

Os custos do CCUS apresentam um elevado grau de variação, uma vez que todos os custos ao longo da cadeia de valor têm diferentes fatores a considerar, resultando num custo total específico para cada projeto.

A S&P Global desenvolveu uma metodologia para aproveitar extensos dados disponíveis publicamente e de bancos de dados proprietários para estimar melhor o potencial geral de redução usando CCUS e custos associados discriminados em captura, transporte através de gasodutos e armazenamento, a fim de construir uma curva de custo marginal de abatimento (MACC) em nível da instalação. Os resultados dos cálculos são então verificados e calibrados para lidar com incertezas e garantir a sua consistência.

O processo de seis etapas, com uma atualização recursiva, é mostrado na imagem abaixo (Figura 15):

FIGURE 15



Visão geral da análise de contribuição econômica

Essa análise de impacto econômico quantifica como uma atividade econômica específica catalisa várias rodadas de contribuições para as principais métricas, como produção econômica, emprego e valor agregado. Usando dados de entrada e saída da OCDE, a S&P Global gerou um modelo para rastrear como os fluxos de atividade econômica iniciados pelos gastos relacionados à CCS estimulariam dois níveis de contribuição econômica na economia brasileira. O primeiro nível, contribuições diretas, abrange as contribuições econômicas resultantes das compras diretas de bens e serviços de empresas brasileiras locais. O segundo nível, contribuições indiretas, captura os efeitos subsequentes que se propagam por vários níveis de cadeias de suprimentos estendidas no país (ou seja, fornecedores de fornecedores, etc.)

As contribuições diretas e indiretas foram relatadas para os seguintes indicadores econômicos:

- **Emprego.** Para produzir seus bens e serviços, as empresas precisam contratar e manter funcionários. Esse indicador mede o número de trabalhadores necessários para sustentar um determinado nível de atividade de vendas em uma economia nacional.
- **Valor agregado (contribuição para o produto interno bruto).** O valor agregado é a diferença entre a receita que as empresas recebem por um produto ou serviço e seus custos de insumos não relacionados à mão de obra. O produto interno bruto (PIB) é a soma de todo o valor agregado em uma economia.
- **Atividades comerciais (produção econômica).** No contexto desta análise, a produção econômica representa o valor da atividade de vendas ocorrida na economia brasileira que, em última análise, foi atribuída a transações iniciadas por despesas operacionais ou de capital.

O fluxograma a seguir (Figura 16) apresenta o processo pelo qual os ciclos de contribuição econômica (direta e indireta) interagem e afetam os principais indicadores de contribuição econômica (atividades comerciais, contribuição para o PIB e emprego). O ciclo de "Contribuição econômica direta" inicia-se com a compra de produtos ou serviços de empresas locais (exibidas na parte superior esquerda do fluxograma). Nesse ponto, o dinheiro é pago às empresas locais em troca de um produto ou serviço. As receitas das vendas permitem que as empresas locais atinjam dois objetivos principais:

- Primeiro, elas compram os insumos que não são mão de obra (também conhecidos como compras intermediárias) necessária para fabricar e entregar seus produtos e serviços de sua rede de suprimentos. Isso dá início ao ciclo de "Contribuição econômica indireta", que será discutido mais adiante.
- Em segundo lugar, elas geram o que os economistas chamam de "valor agregado", que, para os fins desta análise, é a diferença entre o valor dos insumos de mão de obra intermediária e o valor dos produtos e serviços fornecidos, é a diferença entre o valor das transações de vendas e as compras intermediárias, também conhecidas como contribuição para o PIB.

O valor agregado, por sua vez, pode ser considerado como um conjunto de fundos que as empresas locais usam para três propósitos: Contratar, reter e pagar suas forças de trabalho;

- Pagar impostos às autoridades nacionais e regionais; e
- Obter lucros brutos.

Depois que o valor agregado é distribuído aos trabalhadores ou pago às autoridades fiscais, ou retido como lucros brutos, o ciclo de contribuição econômica direta termina.

FIGURE 16

Os gastos diretos dão início a dois ciclos de contribuição econômica



Conforme mencionado anteriormente, as empresas locais utilizadas como fornecedores diretos fazem compras intermediárias de suas redes de fornecimento. Isso dá início ao ciclo de "contribuição econômica indireta". Para esta parte da discussão, designaremos os fornecedores diretos como "fornecedores de nível 1". Os fornecedores de nível 1 fazem compras intermediárias de seus fornecedores (fornecedores de nível 2). Em seguida, os fornecedores de nível 2 fazem compras intermediárias (de fornecedores de nível 3), remuneram seus funcionários, pagam impostos e obtêm lucros. Esse ciclo se repete nas demais camadas da cadeia de suprimentos estendida. A soma das contribuições estimuladas por essas várias rodadas de atividade econômica são os impactos indiretos.



ogci.com

Copyright © 2023 The Oil and Gas Climate Initiative

This report is the Copyright of the Oil and Gas Climate Initiative (OGCI), and has been prepared with the support of S&P Global. This report does not constitute a commitment or necessarily reflect all the views or ambitions of any particular OGCI member. The analysis builds on a mix of publicly available and proprietary data, which have been reviewed and calibrated with the support of S&P Global. While every effort has been made to ensure the accuracy of the information, it is intended to provide general guidance only. All figures included in the report are stated on an estimated basis, given uncertainty related to model inputs and assumptions. The report includes a number of model inputs and assumptions with a high level of uncertainty, including, for instance, the pace of technology innovation, policy developments, shifts in global oil and gas production and demand, etc. Use of or reference of any third-party data or estimates in this report does not constitute adoption or endorsement by OGCI or its member companies.

This report is not designed to provide legal or other advice, nor should it be relied upon as a substitute for appropriate technical expertise or professional advice. The responsibility for the interpretation and use of this publication lies with the user and in no event will OGCI or any of its members past, present or future, regardless of their negligence, assume liability for any foreseeable or unforeseeable use made thereof, which liability is hereby excluded. Consequently, such use is at the recipient's own risk on the basis that any use by the recipient constitutes agreement to the terms of this disclaimer. This disclaimer should be construed in accordance with English law.