

A descarbonização da indústria química brasileira

Conheça as novas tecnologias, processos e projetos que contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa, promovendo a transição para uma economia de baixo carbono no setor

senaicimatec.com.br



Jose Luis Gonçalves de Almeida, D.Sc.
Gerente Executivo - Negócios. SENAI - CIMATEC
jose.almeida@fiab.org.br
senaicimatec.com.br



Gerhard Ett, D.Sc.
Pesquisador - Professor Arquiteto do MBI de Hidrogênio Verde. Área de Tecnologia Química
Gerhard.ett@fiab.org.br



Fernanda Miranda Torres Paiva
Mestranda em Gestão de Tecnologia Industrial, com MBA em Gestão em projetos pelo SENAI CIMATEC, Engenharia Química pela UNIFACS.
Liderança Técnica em projetos de P&D para indústrias
fernanda.torres@fiab.org.br



Bruna Bastos de Souza
Eng. Química pelo Centro Universitário CIMATEC
Pós em Segurança de Processos - PUC-MINAS
Engenheira de Processos
bruna.bastossouza@fiab.org

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPORTÂNCIA DA DESCARBONIZAÇÃO

No atual contexto global, as mudanças climáticas e suas causas têm sido pautas amplamente debatidas não apenas nas comunidades científicas, mas também nas agendas políticas e empresariais. Processos de transformação e utilização de energia, por exemplo, originam gases poluentes e agravantes do efeito estufa (GEE), sobretudo dióxido de carbono (CO₂), cuja concentração na atmosfera tem aumentado de forma exponencial (ARAÚJO; SILVA; RIBEIRO, 2020). Somente em 2010, o mundo emitiu 48 gigatoneladas de gases de efeito estufa (GEE) (MEINSHAUSEN, 2015).

Dessa forma, os países buscam, entre si, estabelecer acordos e tratados que visam atingir metas de descarbonização, esta que consiste no processo de redução de emissões de carbono na atmosfera. O Acordo de Paris (Figura 1), por exemplo, é um tratado mundial que busca reduzir o aquecimento global, estabelecendo metas ambiciosas para a estabilização da temperatura média mundial. O gráfico da Figura 1 demonstra uma tendência de aumento das emissões dos gases de efeito estufa até 2030, chegando a 55Gt, mas a meta deveria ser 40Gt, e, em 2100, deveria chegar a próximo de zero. No entanto, no último relatório do IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*, de políticas públicas adotadas em favor do clima, mostrou que a Terra deverá aquecer 3.2 °C, cuja meta deveria ser de 1,5 °C. Isso deverá subir o nível dos mares e causar uma grande influência no clima e na agricultura. Dessa forma, políticas públicas mais severas deverão ser adotadas pelos países, criando incentivos à descarbonização.

Hoje, muitas empresas já estão adotando práticas de descarbonização em seus processos, seguindo as práticas do ESG – *Environmental, Social and Governance* (Ambiental, Social e Governança) como benefício financeiro, com o aumento do valor de suas ações na bolsa de valores.

Sabe-se que as emissões de dióxido de carbono no mundo são influenciadas por fatores econômicos e tecnológicos. Isso porque países mais desenvolvidos tendem a ter mais emissão *per capita* devido ao seu maior

consumo de energia e dependência de setores industriais intensivos em carbono, como representado na Figura 2. Nos últimos anos, se observou um decaimento das emissões nesses países, o que se deve, em grande parte, à implementação de tecnologias limpas, como energia solar e eólica, e também por conta da transição de combustíveis com alto potencial de carbono para alternativas menos intensivas, como o gás natural. O gás natural, por exemplo, emite menos dióxido de carbono em comparação com o carvão e o petróleo, se tornando uma opção relativamente mais limpa em termos de emissões.

No que diz respeito à matriz energética, o Brasil se destaca pelo seu alto potencial de energia renovável. A energia hidrelétrica é uma fonte importante e representa uma parcela significativa da geração de eletricidade do país. Dessa forma, o país tem investido cada vez mais em fontes como a energia solar e eólica, que são limpas e não emitem dióxido de carbono durante a geração. Além disso, as políticas de proteção à Amazônia têm contribuído para a redução das taxas de desmatamento, o que, por sua vez, auxilia na diminuição das emissões de dióxido de carbono e também na manutenção da sua absorção.

Outro aspecto crucial na redução das emissões de carbono é a utilização de matérias-primas de baixo carbono, como biomassa, materiais reciclados ou renováveis. Essa abordagem permite reduzir a intensidade de carbono nos produtos químicos fabricados, resultando em um impacto ambiental menor, devido principalmente ao que se denomina de economia circular. Além disso, pode-se citar a captura e o armazenamento de carbono,

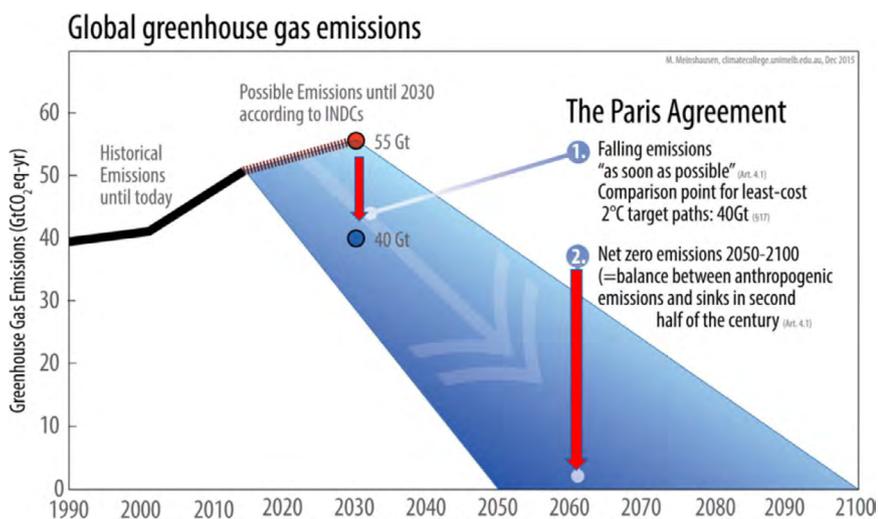
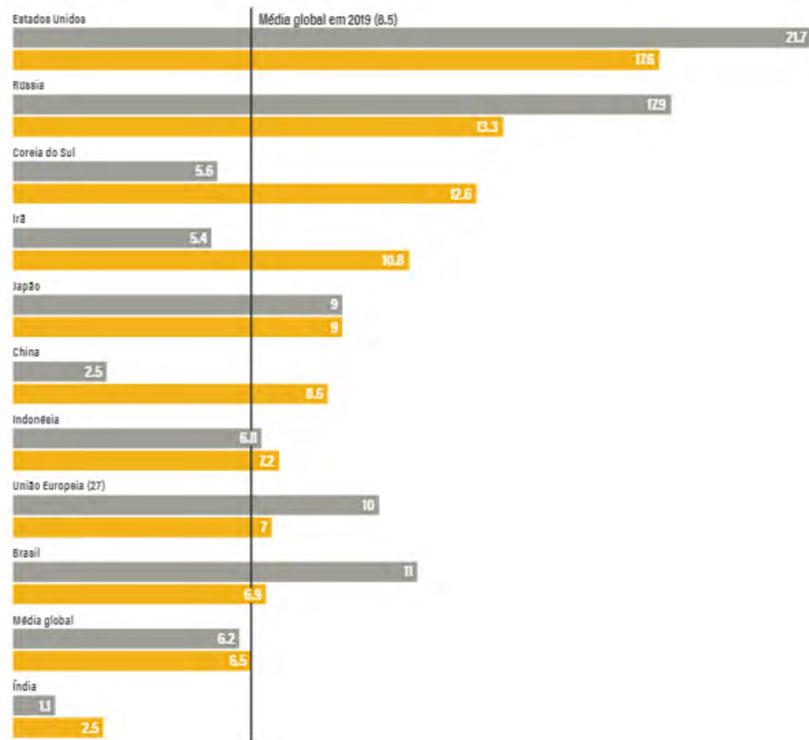


Figura 1. Emissões globais de gases de efeito estufa.
Ref: Malte Meinshausen, climatecollege.unimelb.edu.au, dec.2015.

Emissões per capita dos 10 maiores emissores, 1990 x 2019

tCO₂e/pessoa

■ 1990 ■ 2019



Fonte: Climate Watch - Valores incluem emissões do setor de uso da terra e florestas.

WORLD RESOURCES INSTITUTE

Figura 2. Emissões per capita dos países.

Fonte: VIGNA e FRIEDRICH, 2023.

2020

em % sobre o PIB Industrial



Produtos químicos em 2020:
3ª MAIOR PARTICIPAÇÃO NO PIB INDUSTRIAL

Figura 3. Participação da indústria química na indústria de transformação.

Fonte: ABQUIM, 2022.

que proporcionam uma solução importante para reduzir as emissões provenientes de processos químicos ao capturar o CO₂ gerado e armazená-lo de forma segura (CCUS) (SILVA, 2021).

Ao adotar essas práticas e tecnologias, a indústria química pode reduzir significativamente suas emissões de carbono e contribuir para o cumprimento das metas estabelecidas em acordos globais. A transição da indústria química convencional para processos de baixo carbono não beneficia apenas o meio ambiente, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, mas também impulsiona a inovação tecnológica e a competitividade do setor, promovendo o desenvolvimento sustentável, aquecendo a economia.

ESTADO ATUAL DA INDÚSTRIA QUÍMICA

A indústria química é um setor diversificado e vital que produz uma ampla gama de produtos, incluindo produtos químicos básicos, especialidades químicas, polímeros, fertilizantes, produtos farmacêuticos, plásticos, entre outros. De acordo com a ABQUIM (2022), os produtos químicos de uso industrial são responsáveis pela maior parcela de faturamento líquido da indústria química brasileira; como também são responsáveis por uma parcela significativa de emissões de gases de efeito estufa (GEE), como dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O), contribuindo para as mudanças climáticas citadas anteriormente.

O setor de tratamento de superfícies é um importante consumidor de produtos químicos, desde a formulação de banhos eletrolíticos, no tratamento de efluentes, em insumos para laboratório, entre outros.

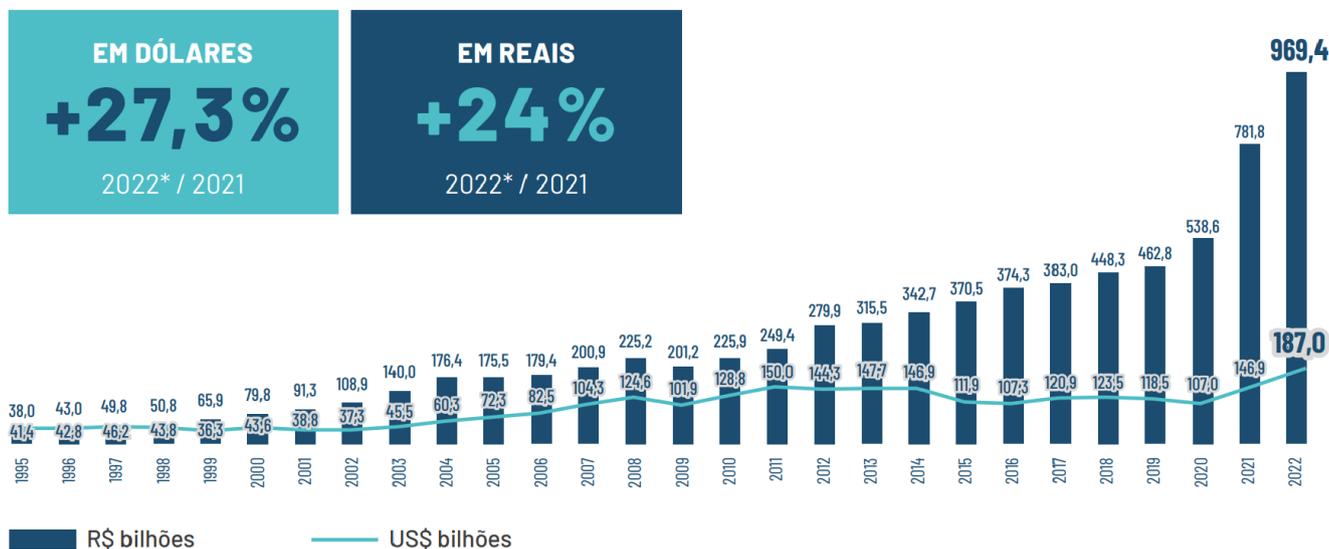


Figura 4. Evolução do faturamento líquido da Indústria química brasileira.

Fonte: ABQUIM, 2022.



Figura 5. Distribuição das plantas de produtos químicos pelo Brasil.

Fonte: ABIQUIM, 2022.

Ainda segundo a ABIQUIM, em 2022, no Brasil, o faturamento líquido da indústria química brasileira atingiu uma impressionante marca de US\$ 187 bilhões, sendo responsável pela terceira maior participação no PIB nacional na indústria de transformação (Figura 3), com um crescente faturamento líquido desde 1995 (Figura 4).

Em comparação com outros países, o Brasil ocupa a sexta posição em termos de faturamento. Os países que estão à frente são a China, com um faturamento de US\$ 1,813 trilhões; seguida pelos Estados Unidos, com US\$ 517 bilhões; Alemanha, com 206 bilhões; Japão, com US\$ 199 bilhões de dólares; e Coreia, com US\$ 172 bilhões. O Brasil ocupa a sexta posição, com um faturamento de US\$ 130 bilhões; seguido pela Rússia, com US\$ 118 bilhões; Taiwan, com US\$ 102 bilhões; Índia, com US\$ 97 bilhões; e França, com US\$ 92 bilhões (Fontes: ACC, CEFIC e Abiquim, ano base comparativo 2021).

Como pode ser observado no gráfico da Figura 5, no Brasil, os estados que possuem o maior número de fábricas de produtos químicos são o estado de São Paulo, com 545 fábricas; seguido pelo Rio Grande do Sul, com 77 fábricas; Rio de Janeiro, com 68; e o estado da Bahia, em quarto lugar, com 64 fábricas concentradas no Polo Industrial de Camaçari. Além disso, Minas Gerais conta com 57 fábricas de produtos químicos. Outros estados também possuem plantas

fabris, embora em menor quantidade, como Paraná, Santa Catarina e demais estados.

A indústria química apresenta um posicionamento expressivo no faturamento líquido do Brasil. Ademais, existem iniciativas em andamento na indústria química para reduzir as emissões de GEE. O setor vem investindo em práticas mais sustentáveis, como a implementação de tecnologias de eficiência energética, o uso de energias renováveis, a otimização de processos químicos, a pesquisa de novos materiais e soluções de baixo carbono.

METODOLOGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO

A descarbonização consiste no processo de redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa na atmosfera, estando associado à mudança da filosofia de uma economia dependente de combustíveis fósseis para uma economia de baixo carbono, que visa mitigar os impactos das mudanças climáticas e consequente aquecimento global.

Existem várias estratégias e tecnologias de descarbonização possíveis de serem implementadas nas indústrias químicas. Alguns exemplos incluem (ALMEIDA, 2023):

- **Energias renováveis:** A substituição de combustíveis fósseis por fontes de energia renováveis, como energia solar, eólica e hidrelétrica, pode ajudar a reduzir significativamente as emissões de GEE na indústria química. Essas formas de energia são a base da economia do hidrogênio renovável, por exemplo.

- **Eletrificação:** Substituição da matriz energética oriunda de combustíveis fósseis por eletricidade - esta é uma estratégia importante nas indústrias químicas. Como exemplo, pode-se citar a substituição dos processos de queima em fornos e caldeiras, que utilizam combustíveis fósseis por sistemas que empregam resistências elétricas como fonte de calor. Além disso, à medida que o futuro da indústria automobilística se afasta do motor de combustão interna surgem várias alternativas, designadamente: veículos elétricos à célula de combustível (FCEV) e veículos elétricos à bateria (BEV).
- **Biotecnologia:** A biotecnologia oferece oportunidades para a descarbonização da indústria química através da utilização de microrganismos para produzir produtos químicos por meio de processos biológicos. Microrganismos podem ser utilizados para fermentar biomassa ou resíduos agrícolas convertendo-os em combustíveis renováveis, podem ser utilizados para degradar e converter resíduos industriais ou agrícolas em produtos químicos valiosos, entre outros.
- **Eficiência energética:** A implementação de medidas para melhorar a eficiência energética nas instalações industriais pode reduzir o consumo de energia e as emissões de GEE associadas. Essa medida tem o potencial de trazer benefícios ambientais, econômicos e operacionais significativos, através da otimização de processos, gestão de energia, entre outros.

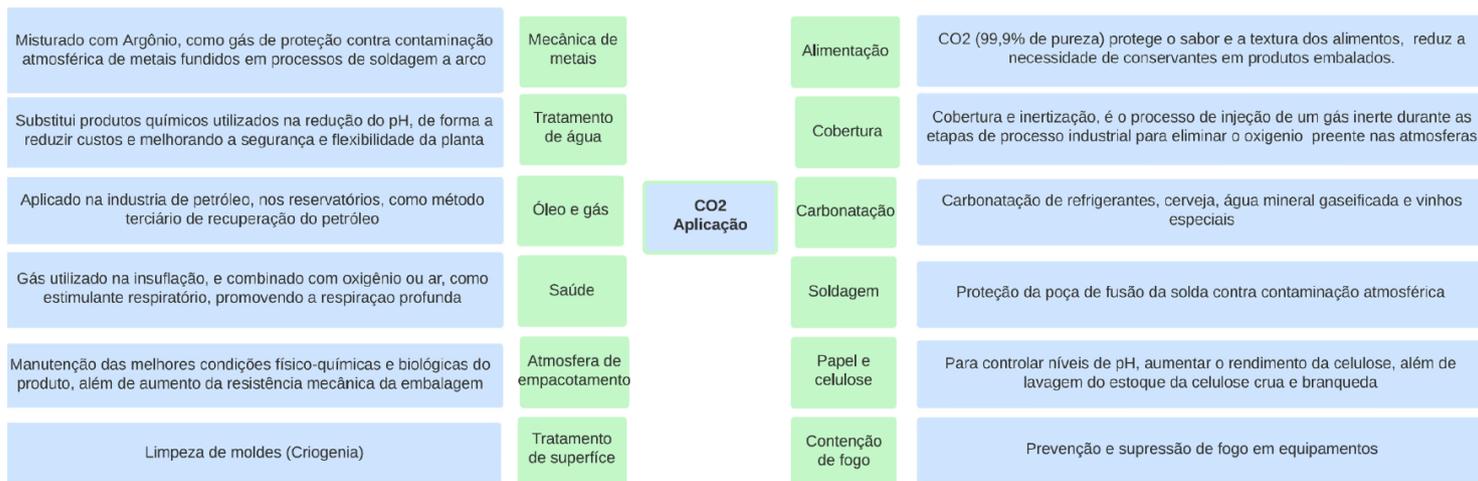


Figura 6. Aplicações do CO₂.

Fonte: Fonte de dados Linde, Air Products, Air Liquid, IBG.

- **Matérias-primas alternativas:** O uso de matérias-primas renováveis e de baixo carbono, como biomassa, resíduos agrícolas e CO₂ capturado, pode ajudar a reduzir as emissões de GEE e a dependência de recursos não renováveis. O CO₂ capturado, por exemplo, ao invés de ser lançado na atmosfera, pode ser incorporado em produtos, diminuindo as emissões.
- **Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono (CCUS):** A implementação de tecnologias de CCUS é uma estratégia que envolve a captura das emissões de CO₂ decorrentes de processos químicos, como também o estudo do seu armazenamento e/ou uso em outros processos químicos – exemplificados na Figura 5. A CCUS pode permitir a captura e o armazenamento seguro do CO₂ liberado durante os processos de produção química, reduzindo, assim, as emissões na atmosfera.
- **Economia circular:** A economia circular consiste em uma abordagem de desenvolvimento econômico e sustentável visando otimizar os recursos e minimizar desperdícios, reduzindo, conseqüentemente, os impactos ambientais associados. Na indústria química, a transição para uma economia circular desempenha um papel fundamental na redução das emissões de carbono através do reaproveitamento de rejeitos gerados nos processos produtivos, transformando-os em produtos de valor agregado.
- **Hidrogênio Verde:** A produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis, como a eletrólise da água usando energia renovável, é conhecida como hidrogênio verde. O hidrogênio verde pode substituir os combustíveis fósseis como matéria-prima na indústria química, reduzindo as emissões de GEE associadas. Além disso, pode ser utilizado como um vetor energético versátil e limpo em outros setores.
- **Biocombustíveis e Biomateriais:** Os biocombustíveis, como o bioetanol, biobutanol e o biodiesel, podem substituir os combustíveis fósseis na indústria química, reduzindo as emissões de GEE. Além disso, biomateriais renováveis, como bioplásticos (tampa verde da Coca-Cola, feita

de etanol), podem substituir os materiais convencionais baseados em combustíveis fósseis. Essas alternativas mais sustentáveis ajudam a reduzir as emissões ao longo da cadeia de valor da indústria química.

A descarbonização da indústria química não apenas contribui para a redução das emissões de GEE, mas também traz benefícios econômicos e ambientais significativos. Isso inclui a criação de empregos verdes, o aumento da eficiência operacional, a melhoria da segurança e sustentabilidade da cadeia de suprimentos e a promoção da inovação tecnológica, ou seja, promove toda uma nova economia.

DESAFIOS E LIMITAÇÕES

A indústria química desempenha um papel significativo nas emissões de gases de efeito estufa, tornando-se essencial a adoção de tecnologias de descarbonização no setor. Embora tenham ocorrido avanços nessa área, ainda existem desafios e limitações a serem superados para alcançar uma transição completa e eficiente.

Para a implementação das tecnologias verdes, muitas vezes são necessários altos investimentos em novas plantas industriais (*green field*) ou na adaptação de antigas plantas. Isto leva a vários desafios e limitações, vistas a seguir:

- **Custo e viabilidade econômica:** Muitas das tecnologias de descarbonização exigem investimentos significativos em infraestrutura e equipamentos, o que pode representar um desafio financeiro para as empresas, especialmente para as de menor porte. Os altos custos iniciais, e a falta de incentivos financeiros adequados, podem dificultar a adoção generalizada dessas tecnologias. É necessário tornar as soluções de descarbonização economicamente viáveis e competitivas em relação às opções tradicionais, baseadas em combustíveis fósseis.
- **Integração com a infraestrutura existente:** A integração de novas tecnologias em plantas industriais existentes pode exigir modificações, adaptações e testes extensivos para garantir a eficiência e a segurança operacional. A aplicação de tecnologias de descarbonização pode exigir infraestrutura adicional, sistemas de distribuição de hidrogênio verde e infraestrutura de energia renovável, por exemplo.

- **Escala e disponibilidade de tecnologias:** Algumas tecnologias de descarbonização ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento ou estão disponíveis em escala limitada, com nível de maturidade tecnológica abaixo de 6 (como a *TRL-Technology Readiness*, nível abaixo de 6), na demonstração em ambiente relevante, conforme métrica da ISO. Por isso, é necessário investir em pesquisa e desenvolvimento para aprimorar e tornar as tecnologias de descarbonização mais eficientes e acessíveis.
- **Confiabilidade e disponibilidade de energia renovável:** Se a tecnologia de descarbonização escolhida depender de fontes de energia renovável, como solar ou eólica, a disponibilidade e confiabilidade dessas fontes podem ser variáveis, o que pode afetar a operação contínua das plantas. É necessário investir em infraestrutura e tecnologia no âmbito das energias renováveis para garantir um suprimento estável e confiável.

A implementação de tecnologias de descarbonização requer uma mudança de mentalidade e cultura dentro das empresas. É necessário um compromisso com a sustentabilidade e a conscientização sobre os benefícios a longo prazo da descarbonização. Somado a isso, pode ser necessário desenvolver capacidades técnicas e de gestão para implementar e operar essas novas tecnologias.

Além disso, pode-se citar a falta de um ambiente regulatório favorável e políticas de apoio claras (BENTO, 2022). A implementação bem-sucedida de tecnologias de descarbonização na indústria química pode ser facilitada por meio da criação de políticas de apoio, incentivos financeiros, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, colaboração público-privada e compartilhamento de melhores práticas. Essas medidas ajudam a amadurecer as tecnologias, tornando-as mais confiáveis e com custos de implementação e operação reduzidos.

Dessa forma, ao promover parcerias e trocas de conhecimento entre diversos setores e *stakeholders*, é possível acelerar o progresso na descarbonização da indústria química e alcançar resultados mais significativos.

INICIATIVAS DE DESCARBONIZAÇÃO

Diante do exposto, pode-se estabelecer que as iniciativas de descarbonização estão se tornando cada vez mais relevantes em todo o mundo. Além disso, a crescente preocupação com o tema da sustentabilidade ambiental e o engajamento das empresas no processo de descarbonização da indústria brasileira têm mobilizado diversos setores industriais a buscarem soluções tecnológicas inovadoras e profissionais especializados, a fim de criarem um ambiente de negócios pautado na economia verde.

Em 2022, o SENAI CIMATEC iniciou um estudo, contratado pelo governo da Bahia, para mapear as áreas com potencial de produção de hidrogênio verde, H2V, na região. De acordo com o Atlas do Hidrogênio Verde, o estado tem potencial para produzir mais de 60 milhões de toneladas de H2V por ano. O estudo, pioneiro no país, vai identificar as regiões com maior capacidade de produção desse combustível limpo, considerando a biodisponibilidade de fontes de energia renovável, bem como a cadeia produtiva associada.

Já se tratando de biomassa como fonte de descarbonização, em abril deste ano, o SENAI CIMATEC e a Shell Brasil fecharam acordo de parceria para iniciar uma nova fase do programa Brave (*Brazilian Agave Development - Desenvolvimento de Agave no Brasil*), com objetivo de explorar o potencial do agave (espécie de planta suculenta) como fonte de biomassa para a produção de etanol, biogás e outros produtos no sertão nordestino.

Associado a isso, para habilitar profissionais com as competências necessárias para a economia do hidrogênio verde e formar novos talentos, o SENAI CIMATEC está desenvolvendo cursos de formação *stricto sensu* (mestrado e doutorado) em Hidrogênio Verde, e está lançando o MBI em Hidrogênio Verde (mais informações ao fim do texto). A especialização fornecerá aos alunos conhecimento e habilidades necessárias para atender às demandas dessa nova indústria, impulsionando a inovação no setor de hidrogênio verde e ajudando a conduzir a transição energética para um futuro mais sustentável.

Como outra iniciativa, pode-se citar o processo produtivo da Neste, empresa finlandesa, que envolve a refinação do óleo de palma (espécie de cacto) usado, e resíduos de alimentos, por meio de um processo chamado hidrotreatamento. Isso resulta em um diesel

