

ROAD TO NET-ZERO CARBON: A TECNOLOGIA CCUS E O MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO COMO INSTRUMENTOS COMPLEMENTARES À MITIGAÇÃO E COMPENSAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO SETOR UPSTREAM

Gustavo Castro Ribeiro Ferreira Silva¹
Virginia Parente¹
Edmilson Moutinho dos Santos¹

¹Universidade de São Paulo

DOI: 10.47168/rbe.v28i4.754

RESUMO

A partir do conceito de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS, na sigla em inglês), é possível contribuir diretamente para uma solução a nível global, visando a mitigação direta de um poluente extremamente nocivo ao meio ambiente e, além disso, destinar sua utilização para fins técnicos e agregar valor econômico nas operações. Além da mitigação das emissões de CO₂ em operações de produção de petróleo e gás natural, cabe ainda destaque às medidas compensatórias para níveis que ainda persistirem. No caso, o mercado de créditos de carbono funciona como um mecanismo de comercialização, visando compensar, de forma econômica e sustentável, a emissão do poluente através de alternativas e projetos ambientalmente favoráveis.

Palavras-chave: *Upstream*; Transição energética; GEE; CCUS; Créditos de carbono.

ABSTRACT

Based on the concept of carbon capture, utilisation, and storage (CCUS), it is possible to directly contribute to a global solution, aiming at the direct mitigation of an extremely harmful pollutant to the environment and, in addition, making their use for technical purposes and adding economic value to operations. In addition to mitigation of CO₂ emissions in oil and natural gas production operations, it is also worth mentioning the compensatory measures for the levels that persist. In this case, the carbon credit market works as a carbon trading mechanism, aiming to compensate, economically and sustainably, the emission of the pollutant through environmentally favourable alternatives and projects.

Keywords: *Upstream*; Energy transition; GHG; CCUS; Carbon credits.

1. INTRODUÇÃO

A fim de contribuir para um quadro mais efetivo e abrangente de mitigação e compensação das emissões, é possível propor, de forma complementar às soluções técnicas para as atividades operacionais, novas opções para maximizar possíveis resultados positivos e atingir as metas *net-zero carbon*, que é a tendência das empresas de petróleo e gás para as próximas décadas. Trazendo o estudo para o cenário brasileiro, especificamente para a produção no polígono do Pré-Sal, rica em CO₂, a tecnologia CCUS (*Carbon Capture Utilisation and Storage*) pode continuar sendo aprimorada e aplicada nas instalações das Bacias de Santos e Campos.

Após a captura do CO₂ nas correntes de produção de petróleo e gás natural, por meio de membranas de separação, o mesmo é reinjetado nos poços, aumentando a pressurização dos reservatórios como um método de recuperação da produção. Modelos de *benchmark* apontam que a utilização do CO₂ como EOR (*Enhanced Oil Recovery*), assim como o armazenamento do poluente em campos offshore, pode proporcionar uma redução nas emissões operacionais de 41% e um aumento de até 20% no Valor Presente Líquido dos projetos (RODRIGUES et al., 2021).

Além da tecnologia CCUS, o mecanismo do mercado de créditos de carbono também surge como uma possível alternativa para solucionar o quadro de emissões no setor petrolífero. O dinamismo do modelo oferece ao Brasil uma posição privilegiada para atrair investimentos na agenda climática internacional, com possibilidade de acelerar o desenvolvimento da indústria de biocombustíveis, o manejo sustentável do solo e a preservação de florestas através de sumidouros naturais, por exemplo.

O mercado de créditos de carbono já existe há pelo menos 30 anos, com mecanismo consistindo na emissão de um certificado eletrônico equivalente a uma tonelada de CO₂ evitada. Diversas *supermajors* do setor de óleo e gás já estão, cada vez mais, utilizando o mercado de créditos de carbono como meio compensatório para atingir metas na Europa e nos Estados Unidos. Segundo uma previsão da consultoria McKinsey & Company (2020), nos próximos anos será possível reduzir significativamente as emissões a um custo médio inferior a US\$ 50/tCO_{2eq}.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo analisar as principais oportunidades de práticas sustentáveis com aplicabilidade na indústria petrolífera, abordando como foco específico a tecnologia CCUS e a dinâmica do mercado de créditos de carbono. A partir de uma revisão bibliográfica, é proposto um estudo de caso aplicado ao cenário operacional *offshore*, sendo possível identificar um quadro de

oportunidades para tornar a indústria petrolífera nacional promissora também em uma transição energética sustentável, eficaz e segura.

2. DISCUSSÃO E DESENVOLVIMENTO

2.1 Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS)

Importante alternativa para contribuir para uma descarbonização tecnicamente segura e economicamente viável, as tecnologias CCUS podem e devem estar presentes no futuro das operações de baixo carbono. Ao abordar os principais aspectos econômicos sobre CCUS, Greig and Uden (2021) destacam modelos de escala global para *net-zero emissions by 2050*, como um recente estudo da Princeton University, indicando que a não utilização do CCUS tornaria a mitigação das emissões mais cara, difícil e eventualmente improvável nas principais economias do mundo, como nos Estados Unidos, impactando diretamente no combate às mudanças climáticas.

Ao mitigar o lançamento de CO₂ para a atmosfera, os volumes capturados do contaminante podem ser direcionados aos ativos de armazenamento geológico, utilizados em métodos de reinjeção em poços de petróleo e até, embora ainda seja um desafio, convertidos em moléculas de alto valor agregado. A estratégia de utilizar a tecnologia nos países produtores e exportadores de petróleo, de acordo com dados da OIES (2021), embora pareça atualmente complexa, contribuirá diretamente com a competitividade de um setor tão estratégico no curso da transição energética para emissões líquidas zero.

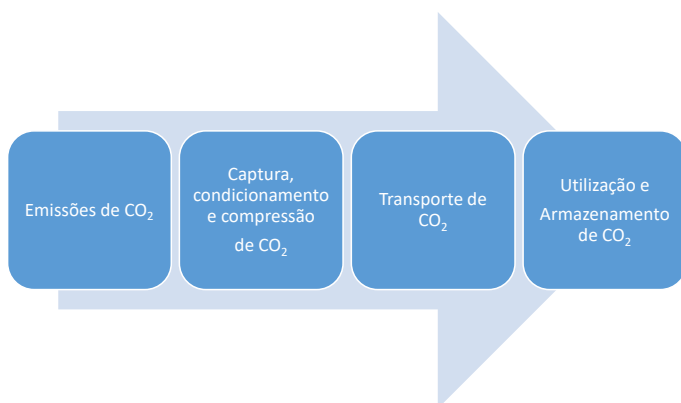


Figura 1 – Cadeia de valor da tecnologia CCUS (Elaborado a partir de Janakiram et al., 2020)

Visando uma cooperação de mercado, a utilização da tecnologia CCUS no *upstream* poderia ainda funcionar como uma forma de certificação ao exportar um petróleo produzido em operações de baixo teor de carbono, incentivando a promoção de políticas regulatórias e acordos climáticos de maneira integrada a partir de produtores e consumidores (OIES, 2021). Na Figura 2 é exposto um gráfico contendo a possível contribuição da tecnologia CCUS no caminho para descarbonização até 2050.

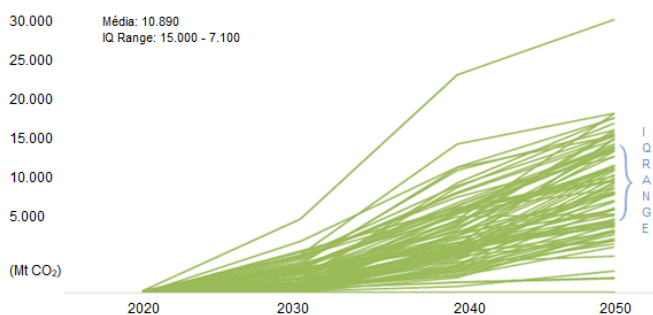


Figura 2 – Potencial de redução de CO₂ a partir da tecnologia CCUS (OIES, 2021)

Segundo Ramos (2021), a configuração integrada de um sistema CCUS pode apresentar as etapas de captura, separação, purificação, compressão, transporte e injeção de CO₂ em estruturas geológicas, ou a utilização para outra finalidade. Além da geração de energia, que é o principal setor para aplicação das tecnologias CCUS, também é possível destacar outras áreas com potencial, como os processos industriais e químicos que geram CO₂ como subprodutos, e nas futuras produções em larga escala de combustíveis com uso de hidrogênio.

Embora exista uma gama tecnológica para a separação em fluxos gasosos, atualmente a captura de carbono ocorre em três variantes: combustão oxí-combustível, pré-combustão e pós-combustão. As principais tecnologias de separação física e química incluem absorção, adsorção, uso de membranas e criogenia, (RAMOS, 2021).

Após a captura do CO₂, é necessário realizar a etapa de condicionamento através de purificação e, então, o contaminante é direcionamento aos ciclos de compressão, onde a pressão inicial pode atingir até 100 psi (6.895 bar) e a final 2.200 psi (151.685 bar) (RAMOS, 2021). Para os processos que envolvem a liquefação do CO₂, além do resfriamento, são necessários de três a cinco estágios de compressão (MONTEIRO et al., 2020).

No caso do CO₂ condicionado longe do local de armazenamento geológico ou utilização, é necessário realizar o transporte do mesmo, que pode ser realizado por meio de dutos, rodovias ou ferrovias. Além das rotas tradicionais, o transporte marítimo do CO₂ vem ganhando relevância, principalmente em projetos de HUBs no Mar do Norte, que envolvem o deslocamento do carbono a partir de navios com tanques criogênicos para *offloading* em FPSOs e posterior injeção em reservatórios geológicos *offshore* (MONTEIRO et al., 2020).

Nas operações *offshore* de produção de petróleo e gás natural, especialmente nas unidades FPSOs em águas profundas, a tecnologia CCUS já é utilizada no próprio local de captura. No Brasil, a captura e o armazenamento em reservatórios carbonáticos no Pré-Sal da Bacia de Santos ocorrem no campo de Lula, considerado o único projeto em larga escala na América Latina, com capacidade de capturar uma média de 3 Mtpa (milhões de toneladas métricas por ano) de CO₂ associado à produção de gás natural (BIROL and ALLAWI, 2021); (RODRIGUES et al., 2021).

Destaque como uma iniciativa da Petrobras recentemente reconhecida e premiada internacionalmente, a tecnologia aplicada no Pré-Sal vem sendo aprimorada desde 2009, e com a entrada de novas unidades há previsão para atingir um volume acumulado de captura e reinjeção de até 40 milhões de toneladas de CO₂ até 2025, se estabelecendo como o maior projeto CCUS *offshore* do mundo (PETROBRAS, 2022). Na Tabela 1, é destacado a capacidade de diferentes opções armazenamento, com destaque para as alternativas *offshore*, como os oceanos e as formações salinas profundas.

Tabela 1 – A capacidade mundial de potenciais reservatórios de armazenamento (Adaptado de Ramos, 2021)

Opção de armazenamento	Capacidade mundial
Oceanos	1000s GtC*
Formações salinas profundas	100s-1000s GtC
Reservatórios de O&G depletados	100s GtC
Jazidas de carvão (coal seams)	10s – 100s GtC
Utilização em processos	10s GtC
Utilization	< 1 GtC/yr

*GtC (gigatoneladas de carbono) = 1 bilhão de tonelada métrica de carbono equivalente

Um estudo de Rodrigues et al. (2021) menciona a utilização de CCUS em FPSOs através de membranas e a reinjeção alternada com água (WAG) como método *Enhanced Oil Recovery* (EOR); além de auxiliar a prevenção da incrustação de calcita nas estruturas operacio-

nais, e a produção com baixo teor de carbono, apresentou uma redução em até 41% das emissões operacionais de CO₂. A Figura 3 apresenta um modelo esquemático para um sistema interligado de poços produtores e injetores em campos do Pré-Sal brasileiro.

A utilização das tecnologias CCUS em produções offshore, além de contribuir diretamente com a mitigação de gases de efeito estufa (GEE), pode ainda auxiliar na produção de petróleo e gás natural como um método de recuperação. É possível ainda transportar o CO₂ por meio de uma rede de gasodutos interligando a captura e o armazenado em campos depletados, formando um HUB de CCUS, e contribuindo para a formação de uma economia de baixo carbono.

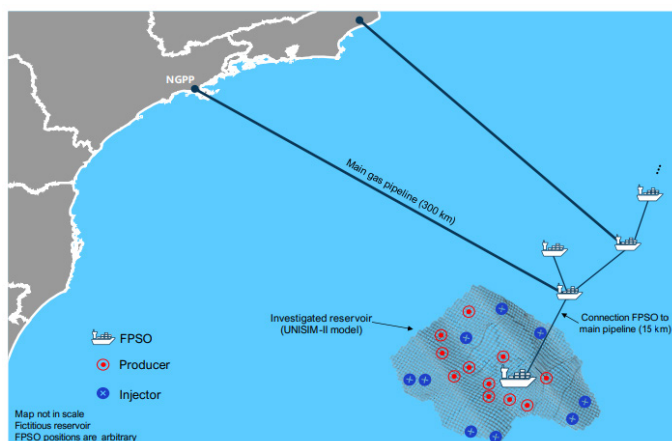


Figura 3 - Projeto hipotético de CCUS baseado no Pré-Sal da Bacia de Santos (RODRIGUES et al., 2021)

2.2 Mercado de Crédito de Carbono

Apesar de atingir notoriedade recentemente, o conceito e o mecanismo do mercado de crédito de carbono existem há pelo menos 40 anos (ANDRIW et al., 2021). O sistema consiste na geração de um certificado eletrônico equivalente a uma tonelada de CO₂ que deixou de ser emitido à atmosfera.

O dinamismo do mercado, segundo Meneguín (2012), é estabelecido por uma autoridade governamental que estabelece metas de redução de GEE em áreas com alta emissão de CO₂, como setores de energia, petróleo e gás, por exemplo. Ainda conforme exposto pelo autor, ao citar as diretrizes do Acordo de Paris, empresas que não

conseguirem atingir suas metas obrigatórias podem pagar por licenças e financiar projetos e iniciativas para reduzir a emissão de CO₂.

As metas podem ser alcançadas através do sistema *cap-and-trade*, mais estruturado e com parâmetros pré-estabelecidos a partir de diretrizes internacionais, ou também por meio do mercado voluntário de carbono (MVC), cujos agentes envolvidos são comprometidos, voluntariamente, em ações envolvendo o mercado de créditos de carbono e tecnologias sustentáveis. As ações, após avaliação, têm validade, contabilização e certificação (LUDENA et al., 2015); (ANDRIW et al., 2021).

A aplicação do mecanismo de crédito de carbono no setor petrolífero, como alternativa de compensação, já vem sendo realizada em projetos de *supermajors* internacionais em regiões dos Estados Unidos e Europa. Na Noruega, já é conhecida a parceria entre a petroleira Equinor e o governo local na busca por uma solução econômica e social para compensar as emissões de GEE. No caso, no país nórdico já existe uma espécie de imposto compensatório das operações de exploração e produção de petróleo e gás desde o início dos anos 2000 (EQUINOR, 2021).

Ainda no Mar do Norte, tem destaque também as ações da britânica BP, historicamente pioneira em projetos de compensação de carbono há mais de duas décadas. Destaque igualmente para projetos como o BP Target Neutral e Global Environmental Products (GEP) em 17 sistemas de comércio de carbono em países da União Europeia, América do Norte, Ásia e Oceania (BP, 2021).

Brasil tem um grande potencial para o desenvolvimento de ações compensatórias como o mercado de crédito de carbono. Mas, também, cabe ressaltar outros pontos potenciais, como os sumidouros naturais a partir de áreas florestais preservadas e também a produção de combustíveis renováveis, principalmente através de políticas já implementadas, como o RenovaBio e os CBios.

3. COMENTÁRIOS FINAIS

Alternativas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa são essenciais para a construção de uma transição energética segura e sustentável. Assim como outros pontos com potencial aplicabilidade em operações da área *upstream*, a tecnologia de captura e armazenamento de carbono poderá contribuir para reduzir os índices de descarbonização da indústria petrolífera. A tecnologia, além de mitigar a emissão do poluente, também tem um grande potencial para fins econômicos, seja a partir de CCUS como métodos de recuperação em campos de petróleo ou e na produção de produtos com valor agregado. O amadurecimento da tecnologia caminha a passos largos para se concretizar uma transição, seguindo os princípios necessários de mitigação.

Embora carente de mais incentivos, o mercado de créditos de carbono já se mostrou uma opção compensatória para empresas ao redor do mundo, seja no mercado regulado ou voluntário. Cada vez mais, empresas petrolíferas assumem o compromisso de participar de projetos em prol da sustentabilidade ambiental e social, e é também do ponto econômico que o mecanismo de comércio de carbono tem seu ponto positivo, fazendo da transição energética segura um movimento não só eficaz, como extremamente possível e alcançável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIW, A., LIMA, L., RIBEIRO, G., 2021. Mercado de carbono como instrumento de redução das emissões do setor petrolífero brasileiro : Evidências a partir do Brasil e do exterior.

BIROL, F., ALLAWI, A., 2021. Commentary: Without help for oil-producing countries, net zero by 2050 is a distant dream [WWW Document]. URL <https://www.iea.org/commentaries/without-help-for-oil-producing-countries-net-zero-by-2050-is-a-distant-dream>

BP, 2021. Carbon Offset [WWW Document]. URL <https://www.bp.com/en/global/bp-trading-and-shipping/what-we-do/low-carbon-trading/carbon-offset.html>

EQUINOR, 2021. Carbon Pricing [WWW Document]. URL <https://www.equinor.com/en/magazine/carbon-pricing.html>

GREIG, C., UDEN, S., 2021. The value of CCUS in transitions to net-zero emissions. *Electr. J.* 34, 107004. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2021.107004>

JANAKIRAM, S., MARTÍN ESPEJO, J.L., YU, X., ANSALONI, L., DENG, L., 2020. Facilitated transport membranes containing graphene oxide-based nanoplatelets for CO₂ separation: Effect of 2D filler properties. *J. Memb. Sci.* 616, 118626. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118626>

LUDENA, C., NETTO, M., RYFISCH, D., 2015. Estudos sobre Mercado de Carbono no Brasil.

MCKINSEY & COMPANY, 2020. The future is now: How oil and gas companies can decarbonize [WWW Document]. URL <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-future-is-now-how-oil-and-gas-companies-can-decarbonize>

MENEGUIN, F.B., 2012. O que é o mercado de carbono e como ele opera no Brasil?

MONTEIRO, J., ROS, J., SKYLOGIANI, E., SVENDSEN, H.F., KNUUTILA, H., MOSER, P., HARTONO, A., WIECHERS, G., CHARALAMBOUS, C., GARCIA, S., 2020. Accelerating Low carbon Industrial Growth through CCUS 691712, 3–9.

OIES, 2021. Carbon Capture and Storage : The perspective of oil and gas producing countries.

PETROBRAS, 2022. Programa de CCUS da Petrobras no pré-sal é o maior do mundo em volume de gás carbônico (CO₂) reinjetado [WWW Document]. URL <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/programa-de-ccus-da-petrobras-no-pre-sal-e-o-maior-do-mundo-em-volume-de-gas-carbonico-co2-reinjetado.htm>

RAMOS, G., 2021. Decarbonization for Oil and Gas Value Chain: An Update Review. Angolan Ind. Chem. Eng. J. 1, 1–5. <https://doi.org/10.47444/aincej.v1i1.5>

RODRIGUES, H., MACKAY, E., ARNOLD, D., 2021. Multi-objective Optimization of CO₂ Recycling Operations for CCUS in a Brazilian Pre-Salt Benchmark Model. SSRN Electron. J. 44, 1–12. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3811515>