

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ANÁLISE DE EMISSÕES DE CO₂ EM ÁREA DE ESTAÇÃO PETROQUÍMICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETO HUB CCS NOS CAMPOS DE MERLUZA E LAGOSTA, CUBATÃO - SP

AUTORES:

Livia Koch Sposito¹, Fabio Lucio de Lacerda¹, Daniel Alkmin¹, Norah Arlet Ordoñez¹ Zapata¹, Mariana Ciotta¹, Hirdan Katarina de Medeiros Costa¹, Edmilson M. Santos¹

INSTITUIÇÃO:

¹Departamento de Energia, IEE-USP, Universidade de São Paulo

ANÁLISE DE EMISSÕES DE CO₂ EM ÁREA DE ESTAÇÃO PETROQUÍMICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETO HUB CCS NOS CAMPOS DE MERLUZA E LAGOSTA, CUBATÃO - SP

Resumo

A crescente demanda por energia em diversos setores exige uma transformação dos sistemas energéticos, com ênfase na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) a necessidade de ações decisivas para limitar o aquecimento global. Neste contexto, as tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) emergem como soluções promissoras e economicamente viáveis como reformas nos sistemas energéticos globais para reduzir as concentrações de dióxido de carbono (CO₂). Este artigo analisa a possibilidade de criação de um hub de armazenamento geológico de carbono (CCS) na cidade de Cubatão, SP. Leva em conta as oportunidades que existem na região, como a infraestrutura do gasoduto que liga a Refinaria Presidente Bernardes a campos depletados de produção de gás natural, além das atividades industriais com alta emissão de carbono que existem na cidade. A metodologia incluiu uma revisão de experiências internacionais similares à área de estudo e a análise de relatórios de sustentabilidade de empresas e órgãos governamentais, permitindo assim uma estimativa detalhada e precisa das emissões de CO₂ que poderiam ser capturadas e armazenadas no projeto Merluza CCS HUB, com custos compensados por receitas de créditos de carbono de outras indústrias da região.

Palavras-chave: Captura e Armazenamento de carbono (CCS); Bacia de Santos; desenvolvimento sustentável, indústria petroquímica

Abstract

The growing demand for energy in various sectors requires transforming energy systems, emphasizing reducing greenhouse gas (GHG) emissions and the need for decisive action to limit global warming. In this context, carbon capture and storage (CCS) technologies are emerging as promising and economically viable solutions for reforming global energy systems to reduce carbon dioxide (CO₂) concentrations. This article analyzes the possibility of creating a geological carbon storage (CCS) hub in Cubatão, SP. It considers the opportunities in the region, such as the gas pipeline infrastructure that connects the Presidente Bernardes Refinery to depleted natural gas production fields, as well as the industrial activities with high carbon emissions in the city. The methodology included a review of international experiences similar to the study area and the analysis of sustainability reports from companies and government bodies, thus enabling a detailed and accurate estimate of the CO₂ emissions that could be captured and stored in the Merluza CCS HUB project, with costs offset by carbon credit revenues from other industries in the region.

Keywords: Carbon Capture and Storage (CCS); Santos Basin; sustainable development, petrochemical industry

Introdução

A energia é essencial para a vida moderna, uma vez que alimenta as indústrias e os serviços e atende as necessidades cotidianas das pessoas. No entanto, com o aumento contínuo da demanda de

energia em diversos setores e entre os consumidores, há uma necessidade urgente de renovar os sistemas energéticos locais e globais. Esta transformação exige uma mudança para fontes de energia renováveis, principalmente devido a preocupações com o desenvolvimento sustentável e à necessidade de mitigar as emissões de gases de efeito estufa para enfrentar as alterações climáticas.

O Acordo de Paris, adotado em 2015 e efetivo a partir de 2016, estabelece que as nações participantes devem adotar medidas decisivas para limitar o aquecimento global. O objetivo é restringir o aumento da temperatura global a, no máximo, 2 graus Celsius acima dos níveis pré-industriais, com esforços para limitar o aumento a 1,5 graus Celsius, reduzindo simultaneamente a dependência dos combustíveis fósseis. Para atingir este objetivo, são necessárias reformas profundas nos sistemas energéticos mundiais, a fim de reduzir as concentrações atmosféricas de CO₂ juntamente ao aumento da temperatura do planeta.

Nos últimos anos, a captura e armazenamento de carbono (CCS) tornou-se uma tecnologia fundamental na luta contra o aquecimento global, reduzindo as emissões de CO₂ do setor industrial e do setor da energia, dado o seu forte apelo a curto prazo na transição energética, com iniciativas como a produção de hidrogênio azul e a energia bioenergética com captura e armazenamento de carbono (BECCS), na ânsia de resolver um problema complexo como o aquecimento global através de diferentes abordagens que se complementam e, em última análise, levam ao zero líquido (CIOTTA, 2020).

O Brasil apresenta perspectivas favoráveis para a implementação deste tipo de projeto devido aos seus reservatórios esgotados que podem agora ser utilizados para a transição energética e para a luta contra o aquecimento global. De acordo com a visão geral de CIOTTA (2020) sobre a Bacia de Santos, os campos de Merluza e Lagosta são propícios devido às suas características geológicas e facilidades logísticas, com um gasoduto ligando os campos a uma importante zona industrial no estado de São Paulo (Cubatão).

A transição energética exige uma mudança para fontes de energia renováveis, principalmente motivada por preocupações de desenvolvimento sustentável e pela necessidade de atenuar as emissões de gases com efeito de estufa para fazer face às alterações climáticas. No entanto, o armazenamento geológico de carbono (CCS) apresenta-se como uma ferramenta fundamental a adotar a curto prazo para combater o aquecimento global (SHU et al, 2023).

Metodologia

Para a realização desta pesquisa, foi feita uma ampla revisão de experiências internacionais similares à área de estudo. Em seguida, foram consultados relatórios de sustentabilidade de empresas e relatórios governamentais sobre questões ambientais na zona industrial de Cubatão. Esse processo teve como objetivo estimar as emissões de CO₂ para o projeto Merluza CCS HUB.

Primeiramente, foram identificados e analisados projetos envolvendo CCS implementados em outras regiões com características geológicas, industriais e tecnológicas semelhantes às de Cubatão.

Essa revisão incluiu a avaliação das metodologias, tecnologias utilizadas, resultados obtidos e lições aprendidas nesses projetos internacionais.

Em seguida, foram coletados e examinados os relatórios de sustentabilidade das principais empresas que operam na zona industrial de Cubatão, juntamente com relatórios relevantes sobre emissões e impacto ambiental. Esses documentos forneceram dados essenciais sobre as emissões atuais de CO₂ e outras variáveis ambientais críticas.

A combinação dessas duas fontes de informação permitiu uma estimativa detalhada e precisa das emissões de CO₂ que poderiam ser capturadas e armazenadas no projeto Merluza CCS HUB. Essa abordagem abrangente garantiu que tanto as melhores práticas internacionais quanto os dados específicos e contextualizados da região de Cubatão fossem levados em consideração.

Resultados e Discussão

A experiência de Tomakomai

O Projeto de Demonstração de CCS de Tomakomai, o primeiro projeto de CCS de cadeia completa do Japão, capturou e armazenou CO₂ de uma refinaria de petróleo costeira na ilha de Hokkaido, no Japão, entre 2016 e 2019. A unidade de produção de hidrogênio na refinaria produziu gás residual contendo cerca de 50% de CO₂, que foi capturado através de um processo à base de aminas (SAWADA et al., 2021).

A tecnologia atualmente utilizada na indústria para a captura de CO₂ é a absorção com soluções de aminas líquidas. A remoção de CO₂ pelas aminas ocorre através da formação amplamente aceita de espécies de carbonato e bicarbonato (...). Estas reações reversíveis permitem a regeneração das aminas, normalmente através do aquecimento da solução rica em CO₂ (SAYARI, 2011, p. 764).

Em Tomakomai, foi construída uma instalação de captura de CO₂ mais de 20 anos após o início das operações da instalação de produção de hidrogênio. Isto indica que a migração da produção de hidrogênio sem CCS para um modelo com CCS é tecnicamente viável. A infraestrutura baseou-se num processo de absorção utilizando amina e subsequente separação através do fornecimento de calor, permitindo que o processo funcione em ciclos sem necessidade de reabastecimento constante de amina. Após a captura, o CO₂ é comprimido e encaminhado para condutas de injeção subterrâneas (SAWADA et al., 2021).

O projeto capturou cerca de 100.000 toneladas de CO₂ por ano de funcionamento para injeção em dois aquíferos salinos offshore próximos para armazenamento e monitorização (SAWADA et al., 2021). Isso demonstra que a infraestrutura existente pode ser adaptada para incorporar tecnologias de CCS sem exigir grandes mudanças na operação original da refinaria. Essa experiência e aplicação tecnológica são particularmente relevantes para Cubatão, onde podem beneficiar de um modelo semelhante, podendo capturar uma quantidade significativa de CO₂, contribuindo para a descarbonização da produção industrial e para cumprimento das metas climáticas regionais e

nacionais. A monitorização contínua após a injeção, que garantiu a segurança do armazenamento em Tomakomai, poderia ser replicada em Cubatão, implementando sistemas rigorosos para assegurar a integridade dos reservatórios e a segurança ambiental.

Como resultados preliminares, os tipos de Gases de Efeito Estufa (GEE) na região de Cubatão foram categorizados em dois segmentos primários: emissões naturais e antropogênicas. As emissões naturais englobam todos os processos relacionados à atividade biológica, à vegetação nativa e às ocorrências naturais, como queimadas, reflorestamentos, destruição de biomassa e processos geológicos metamórficos (CONDIE, 1997; IPCC, 2014). Por outro lado, as emissões antropogênicas resultam de atividades humanas, nomeadamente a combustão de hidrocarbonetos, práticas agrícolas, desflorestação, alterações no uso do solo e processos industriais. No âmbito das fontes antropogênicas, as emissões de GEE provêm frequentemente de instalações fixas, como as centrais termoelétricas e os grandes complexos industriais de setores como a química, a petroquímica, a refinação, os adubos, o cimento e a siderurgia. Estas instalações apresentam normalmente níveis elevados de emissões concentradas em áreas geográficas específicas, sendo por isso classificadas como estacionárias (McQUEEN et al., 2020)

Nestes setores, as configurações técnicas e económicas apresentam frequentemente complexidades na prossecução de estratégias de redução das emissões sem impactos adversos nas operações comerciais. Muitas empresas encontram obstáculos significativos na transição para uma economia de baixo carbono. Alguns segmentos da indústria precisam de ajuda para implementar processos de descarbonização nas suas cadeias de produção, especialmente quando a competitividade regional ou global depende da adoção de normas de emissão semelhantes às dos concorrentes internacionais. Consequentemente, acordos climáticos internacionais eficazes desempenham um papel crucial na condução de mudanças comportamentais entre as partes interessadas da indústria, e espera-se que a captura de carbono tenha um grande potencial para reduzir as emissões de carbono neste setor (DA SILVEIRA CACHOLA et al., 2023).

Por exemplo, o pólo petroquímico de Cubatão-SP engloba aproximadamente 24 grandes indústrias de diversos setores. Nesse contexto, foram selecionados três setores-chave para análise: refino de petróleo, geração de energia termoelétrica e produção de amônia. Juntos, esses setores contribuíram com cerca de 590 mil toneladas de emissões de CO₂ em 2020 (SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020). Na Nota Técnica EPE - Hidrogênio Azul: Produção a partir da reforma de gás natural com CCUS (EPE, 2022a), um estudo de caso indica a oportunidade de construção de uma planta de captura de CO₂ em Cubatão-SP. O estudo de caso sugere a utilização da rede de gasodutos que liga Cubatão à plataforma de Merluza como uma possível rota para o transporte do CO₂ capturado. O armazenamento seria feito nos campos exauridos do pólo de Merluza.

A Refinaria Presidente Bernardes Cubatão (RPBC), uma das refinarias da Petrobras, possui duas unidades de produção de hidrogênio. O hidrogênio é amplamente utilizado nos processos de refino de petróleo para ajustar a qualidade dos derivados de petróleo. Atualmente, todas as grandes refinarias possuem unidades para esse fim. Adjacente à refinaria encontra-se uma fábrica de fertilizantes da Yara Fertilizantes, que produz grandes quantidades de amoníaco. Esta produção

também necessita de hidrogênio, pelo que duas unidades industriais possuem unidades de geração de hidrogênio. Na mesma região, temos a Usina Termelétrica de Cubatão, que utiliza turbinas a gás natural para geração de energia elétrica e produção de vapor utilizado na refinaria.

A RPBC já dispõe de unidades de tratamento de gases com aminas para remoção de H₂S das frações de GPL. Esta tecnologia pode também ser utilizada para remover o CO₂ do gás efluente da unidade de geração de hidrogênio (UGH) e das chaminés da central termoelétrica. Para tal, seria necessária a construção de uma nova unidade dedicada à captura de CO₂ na refinaria. As três unidades industriais acima referidas geram anualmente cerca de 590 mil toneladas de CO₂, representando menos de 1,2% da capacidade de armazenamento de Merluza, estimada em cerca de 49,9 milhões de toneladas de CO₂ (CIOTTA, 2020). Merluza pode armazenar o CO₂ gerado por estas três indústrias durante cerca de 83 anos.

A malha de gasodutos entre a RPBC e Merluza apresenta atualmente um baixo fator de utilização, tendo em vista o atual estágio de pré-hibernação de Merluza (EPE, 2020). A Petrobras tem pleno conhecimento da geologia dos poços, que já possuem parte significativa da infraestrutura de reinjeção e monitoramento de gás. Esta é uma condição muito mais favorável do que no caso de Tomakomai, onde os reservatórios tiveram de ser perfurados, mas não sem uma extensa pesquisa geológica que envolveu custos elevados - um processo a que Merluza já foi submetida.

Assim, na RPBC, podemos começar a descarbonizar a produção de combustível, amoníaco e eletricidade, capturando e enviando CO₂ para campos de petróleo e gás esgotados no pólo de Merluza. Prevê-se também que a fábrica de fertilizantes comece a utilizar biometano na produção de hidrogênio (EPBR, 2022). A captura e o armazenamento de CO₂ no processo do biometano podem resultar em emissões de carbono negativas. A refinaria também planeja construir uma unidade de biorrefinaria (Petrobras, 2023), utilizando matérias-primas renováveis para a produção de combustíveis. A aplicação de CCS nesse processo também pode resultar em emissões negativas de carbono.

Na segunda fase, a produção de hidrogênio poderia aumentar para iniciar o mercado de hidrogênio azul na região da Baixada Santista. A injeção de hidrogênio na rede de gás natural que serve as indústrias do pólo de Cubatão e na rede de gás natural residencial poderá ser o ponto de partida para a RPBC comercializar o hidrogênio atualmente utilizado apenas nos processos internos da refinaria.

Vislumbrando o mercado de créditos de carbono e a monetização de poços capazes de armazenar CO₂, a RPBC poderia se tornar um hub para receber gases ricos em CO₂ de indústrias regionais, uma vez que a Nota Técnica da EPE avalia que, de acordo com um estudo do Global CCS Institute de 2011, um gasoduto com as características do gasoduto de Merluza tem capacidade máxima de transporte de 2,5 Mt CO₂ por ano. Isso possibilita a agregação de outras fontes emissoras de CO₂ no hub sem complicações logísticas e com implicação de aumento de custos em larga escala.

Prevê-se também que a rede de gasodutos do pré-sal se expanda com novas rotas, permitindo a interligação de outras refinarias produtoras de hidrogênio com vários campos capazes de armazenar CO₂. Isso faria da captura e armazenamento de carbono (CCS) uma importante fonte de receita para a indústria petrolífera.

Conclusões

A RPBC está estrategicamente posicionada para liderar a implementação de tecnologias captura e armazenamento de CO₂ no Brasil com uma prontidão operacional elevada, proficiência tecnológica e infraestrutura robusta, a RPBC pode utilizar campos esgotados de petróleo e gás, interligados por dutos à refinaria como locais seguro para o CO₂ capturado. Essa combinação de fatores coloca a RPBC na vanguarda das iniciativas de redução de emissões no setor industrial, contribuindo de maneira significativa para a transição energética e para os esforços globais de mitigação das mudanças climáticas.

Os custos associados a estas iniciativas poderiam ser compensados por receitas de créditos de carbono provenientes de outras indústrias regionais, especialmente quando a RPBC processa os gases. Além disso, dependendo das matérias-primas utilizadas por estas empresas, pode até ser concebível conseguir processos com emissões líquidas negativas de carbono.

Se sugere a construção de uma usina de captura de CO₂ em Cubatão-SP, utilizando a rede de dutos existente para o transporte de CO₂ até a plataforma de Merluza para armazenamento. A refinaria RPBC, juntamente com as fábricas de fertilizantes e termoeletricas adjacentes, poderia efetivamente sequestrar e estocar as emissões de CO₂. A infraestrutura existente e a baixa utilização da rede de gasodutos fazem desta uma opção favorável.

O projeto apresenta-se como uma alternativa da descarbonização da produção de combustível, amoníaco e eletricidade na RPBC. A utilização de biometano na produção de hidrogênio e a construção de uma unidade de biorrefinaria poderão resultar em emissões de carbono negativas. Além disso, o aumento da produção de hidrogênio azul e a sua integração na rede de gás natural poderiam reduzir ainda mais as emissões.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio da CNOOC Petroleum Brasil Ltda., reconhecendo a importância estratégica do apoio da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) por meio da regulamentação da taxa de P&D&I (Resolução ANP nº 918/2023). Agradecemos também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo indispensável apoio. Esta publicação reflete apenas a opinião dos autores, e os patrocinadores das bolsas não se responsabilizam por qualquer uso que possa ser feito das informações aqui contidas.

Referências Bibliográficas

SAYARI, A.; BELMABKHOUT, Y.; SERNA-GUERRERO, R. Flue gas treatment via CO₂ adsorption. *Chemical Engineering Journal*, v. 171, n. 3, p. 760-774, 2011. ISSN 1385-8947.

CIOTTA, M. R. *Estudo de possibilidades para armazenar CO₂ em reservatórios geológicos offshore na Bacia de Santos*. 2020. [Tese de doutorado, Universidade de São Paulo]. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.106.2020.tde-16032020-221515>. Acesso em: 28 ago. 2024.

DA SILVEIRA CACHOLA, C.; CIOTTA, M.; DOS SANTOS, A. A.; PEYERL, D. Deploying of the carbon capture technologies for CO₂ emission mitigation in the industrial sectors. *Carbon Capture Science & Technology*, v. 7, p. 100102, 2023.

SHU, D. Y.; DEUTZ, S.; WINTER, B. A.; BAUMGÄRTNER, N.; LEENDERS, L.; BARDOW, A. The role of carbon capture and storage to achieve net-zero energy systems: Trade-offs between economics and the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 178, p. 113246, 2023. ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113246>.

DE, U. I. F. D. R. *CAPTURA DE CO₂ E H₂S COM SOLUÇÕES AQUOSAS DE ALCA OLAMI AS VIA DESTILAÇÃO REATIVA*. 2010. [Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro].

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Hidrogênio Azul: Produção a partir da reforma do gás natural com CCUS*. 2022a.

ALHUMAIDAN, F. S.; HALABI, M. A.; RANA, M. S.; VINOBA, M. Blue hydrogen: Current status and future technologies. *Energy Conversion and Management*, v. 283, p. 116840, 2023. ISSN 0196-8904. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116840>. Acesso em: 28 ago. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge University Press, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.

McQUEEN, N.; WOODALL, C. M.; PSARRAS, P.; WILCOX, J. CCS na Indústria de Ferro e Aço. In: *Série RSC Energia e Meio Ambiente 2020*, 2020, janeiro. Capítulo 11.

SHAHBAZ, M.; ALNOUSS, A.; GHIAT, I.; MCKAY, G.; MACKEY, H.; ELKHALIFA, S.; AL-ANSARI, T. A comprehensive review of biomass based thermochemical conversion technologies integrated with CO₂ capture and utilisation within BECCS networks. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 173, p. 105734, 2021. ISSN 0921-3449.

AGREEMENT, Paris. Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Dec. 12, 2015, TIAS No. 16-1104. 2015. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf Acesso em: 28 ago. 2024.

PETROBRAS. *Sustainability Report*. 2021. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/25fdf098-34f5-4608-b7fa-17d60b2de47d/7b6ca46f-9e3f-74c6-f67b-7c8975243532?origin=1>.

SAWADA, Y.; TANAKA, J.; TANASE, D.; SASAKI, T.; SUZUKI, C. Overall Review of Tomakomai CCS Demonstration Project ~Target of 300,000 tonnes CO₂ injection achieved. In: *Proceedings of the 15th Greenhouse Gas Control Technologies Conference*, 15-18 mar. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3812038>. Acesso em: 28 ago. 2024.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Cubatão natural gas consumption*. Disponível em: <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portallcev2/municipios/>.