

# Química verde do Carbono: Prévia de um futuro energético sustentável

DOI: 10.5281/zenodo.11092553

Paulo Resende Neto<sup>a\*</sup>

This article aims to discuss information on Green Carbon, a science in response to the global market's high demand for fossil fuels. Presenting some of its chemical principles, developments, and a vision of the market, going Beyond the practical laboratory environment.

O objetivo desse trabalho é propor um diálogo acerca de informações referentes ao carbono verde, uma ciência em resposta a alta demanda de combustíveis fósseis pelo mercado global. Apresentando alguns de seus princípios químicos, avanços, e uma visão do comércio, indo além da prática no ambiente laboratorial.

Universidade de Brasília - UnB. Campus Darcy Ribeiro - Instituto de Química.

\*E-mail: pauloresendeneto15@hotmail.com

**Palavras-chave:** Química verde; carbono; combustíveis; energia.

Aceito em 22 de março de 2024,

Aprovado em 26 de abril de 2024,

Publicado em 01 de maio de 2024.

## Introdução

Os 12 princípios da Química Verde representam um projeto inovador para redução e eliminação do emprego de substâncias prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Destacam-se medidas como o uso de solventes e auxiliares seguros e a busca pela eficiência energética.<sup>1</sup> Além disso, métodos energéticos provenientes do elemento químico carbono são amplamente reconhecidos pela sua importância no desenvolvimento da sociedade. No entanto, diante desse desafio preventivo para sustentabilidade que fora proposto por esses modelos, esse significativo fator energético precisa de desenvolvimento para adequar a um uso mais sustentável.<sup>2</sup>

Conforme a publicação *World Energy Outlook 2021* da *Internacional Energy Agency* (IEA), no cenário de políticas declaradas (STEPS), a demanda por combustíveis fósseis continua a crescer, com o uso do carvão se recuperando e previsto para se estabilizar na década de 2030.<sup>3</sup> As fontes de energia referentes ao carbono são empregadas principalmente na conversão de biomassa em combustíveis, produtos químicos e outros materiais, enquanto o hidrogênio é utilizado para formar sistemas de emissão zero de carbono. Entretanto, a produção verde desse material ainda não é suficiente para a demanda atual, de acordo com o *Global Hydrogen Review 2021* da IEA.<sup>4</sup>

O carbono e seus recursos são classificados como não renováveis, incluindo o petróleo e o carvão, e renováveis, como a biomassa e o CO<sub>2</sub>. O ciclo de consumo do carbono envolve, em sua base, o uso de matérias-primas fósseis para a conversão

em combustíveis, produtos químicos e materiais, resultando na liberação de dióxido de carbono ao final do processo. Surge, então, a iniciativa científica e tecnológica do desenvolvimento do carbono verde, que busca métodos de processamento eficiente desse elemento químico.<sup>5</sup>

As técnicas do carbono verde são divididas em quatro etapas distintas. Na primeira etapa, ocorre a otimização dos recursos de carbono, tais como o carvão, óleos e gases naturais, em que a eficiência e a utilização dos químicos são medidas e aprimoradas através da eficiência atômica. A segunda fase busca aperfeiçoar a conversão e a utilização de biomassa, visando minimizar a dependência de recursos fósseis. Em seguida, a terceira fase concentra-se na utilização do ciclo químico do carbono para equilibrar o ciclo natural, através da captura e uso do CO<sub>2</sub>. Por fim, na quarta fase desenvolvem-se rotas de reação utilizando CO<sub>2</sub> e água em conjunto com energias renováveis.<sup>2</sup>

Os trabalhos referenciados propõem um diálogo acerca das técnicas e práticas relacionadas ao desenvolvimento do carbono verde, visando destacar a importância dessa alternativa sustentável diante do crescente aumento da demanda desse material como fonte de energia.

## Metodologia

A elaboração e escrita deste artigo compila informações de artigos disponibilizados na plataforma Embase por meio do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que

graças a comunidade Acadêmica Federada (CAFe) permite o acesso gratuito a conteúdos assinados para estudantes de comunidades federadas, como a Universidade de Brasília (UnB), por meio do login com seu e-mail institucional. O conteúdo apresentado no artigo foi obtido por via da pesquisa com as seguintes palavras-chave específicas: “química verde”, “carbono”, “combustíveis” e “energia”.

No artigo de referência, o autor Peng Gao e colaboradores,<sup>2</sup> compilam avanços nas pesquisas sobre o carbono verde, incluindo demonstrações industriais e aplicações comerciais, oferecendo uma visão além do ambiente laboratorial. Destaca-se os avanços em particular da transformação do carvão em combustíveis líquidos e produtos químicos, seja por meio da biomassa, dióxido de carbono ou do gás de síntese.

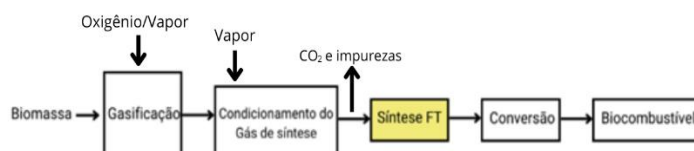
Os autores também delineiam as fases da ciência do carbono verde supracitadas, de modo que também proporcionam uma visão atualizada dos desafios associados a essas práticas, ao mesmo tempo em que identificam potenciais oportunidades para essas tecnologias.

## Resultados e discussão

Na fase inicial da ciência do carbono verde, o objetivo principal é a aplicação eficaz de recursos compostos por carbono, tal que esses materiais possuem o potencial de mitigar questões ambientais e diminuir a dependência dos combustíveis derivados do petróleo. Atualmente, o desenvolvimento de indústrias químicas e energéticas são fortemente dependentes do petróleo e seus recursos, mas devido à sua disponibilidade limitada, há uma crescente busca por fontes alternativas capazes de sustentar a produção em larga escala de produtos químicos.<sup>2</sup>

O carvão, por meio de um gás de síntese, pode ser derivado em combustíveis e produtos químicos através da síntese de Fischer-Tropsch.<sup>2</sup> Um processo catalítico, ilustrado na Figura 1, de conversão de gás de síntese, como o monóxido de carbono e gás hidrogênio, em que seus produtos se assemelham ao petróleo,<sup>7</sup> esses combustíveis líquidos possuem hidrocarbonetos de maior peso molecular, que devido a essa característica apresentam um alto valor.<sup>8</sup> Essa técnica tem sido cada vez mais adotada em várias indústrias devido à sua capacidade de competir com o valor do petróleo bruto.<sup>6</sup>

**Figura 1.** Diagrama simplificado da síntese de Fischer-Tropsch.<sup>7</sup>



A segunda fase, por sua vez, envolve a conversão de biomassa, um material orgânico capaz de capturar energia solar através da energia química proveniente do carbono sólido. Apesar da grande quantidade de pesquisas sobre esse combustível, os recursos necessários para sua produção são limitados. Portanto, para obter matéria renovável de forma sustentável, o dióxido de carbono tem sido empregado.<sup>2</sup>

Uma abordagem da prática seguida pelos autores, é a produção de Etilenoglicol (EG) a partir de celulose. O etilenoglicol é um composto químico fabricado atualmente em grande escala, com cerca de 30 milhões de toneladas sendo fabricadas globalmente a cada ano, mas tradicionalmente derivado do petróleo. Em 2008, na *Dalian Institute of Chemical Physics* (DICP) o grupo de pesquisa liderado por Zhange Wang desenvolveu um método de conversão catalítica direta da celulose para o etilenoglicol. Esse método é considerado sustentável devido ao uso de água como solvente, uso de matéria-prima renovável e uma eficiência atômica elevada, variando de 60% a 80%. Além disso, o EG produzido derivado da celulose apresenta um valor de produção comparável ao obtido a partir do petróleo.<sup>2</sup>

A terceira fase, visa a redução da emissão de dióxido de carbono, que devido à sua capacidade de carbono de oxidar completamente, demanda um alto consumo de energia. Por isso, substâncias altamente energéticas como H<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> têm sido empregadas para conversão do CO<sub>2</sub> em produtos importantes, como gases de síntese e metano.<sup>2</sup>

O Metano é o constituinte principal dos gases naturais e do biogás.<sup>5</sup> Portanto, a conversão de dióxido de carbono em metano emerge como uma alternativa para produção de energia. O hidrogênio é a fonte de energia primária para esse processo, mas pode ser substituído por métodos de produção energética verde, como hidroelétricas, solar e eólica. A *The Copenhagen Power-to-Gas Project* é o maior empreendimento comercial desse tipo no mundo, representando o enorme potencial para o desenvolvimento de sistemas energéticos sustentáveis.<sup>2</sup>

Na última etapa, a quarta fase o seu princípio consiste nas tecnologias de reciclagem do dióxido de carbono, como citado pelos autores microalgas, organismos unicelulares. São capazes de realizar a conversão do dióxido de carbono em açúcares e lipídeos, como também pontuam a conversão de dióxido de carbono e da água utilizando fontes de energia renovável. Um importante método é a conversão de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O respectivamente em metanol e H<sub>2</sub>, por meio da energia solar, que realiza a eletrólise da solução líquida de metanol.<sup>2</sup>

## Conclusões

Acerca do artigo em referência de Peng Gao e colaboradores,<sup>2</sup> evidencia-se a urgência do desenvolvimento de pesquisas em métodos energéticos alternativos, com foco especial no elemento químico carbono, especialmente diante da crescente na demanda por combustíveis fósseis que, apesar da alta eficiência, são limitados e prejudiciais ao meio ambiente, contrariando os princípios da química verde.

A ciência do carbono verde surge na busca de otimizar o uso de recursos provenientes do carbono, assim esses recursos terão um uso mais eficiente.<sup>2</sup> Em destaque, o carvão pode ser convertido em combustíveis e produtos químicos através da síntese de Fischer-Tropsch. Além de ser um método mais sustentável, possui um valor comercial comparável ao do petróleo bruto.<sup>6</sup>

Outro grande procedimento compilado pelos autores é a produção de etilenoglicol a partir de celulose, que exemplifica a conversão de biomassa, um dos pilares dessa ciência. O método aplicado além de apresentar uma eficiência atômica elevada, também é capaz de competir com EG proveniente do petróleo no mercado, pelo valor de produção semelhante.<sup>2</sup>

Os experimentos nas fases subsequentes reafirmaram a importância dessa ciência. Na terceira fase, busca-se reduzir a emissão de dióxido de carbono através da conversão em metano, um dos principais componentes dos gases naturais e do biogás. Já na quarta fase, o foco reside na utilização conjunta de CO<sub>2</sub> e água, aliados a fontes de energia renovável, como a energia solar. Isso possibilita a conversão desses reagentes em metanol e H<sub>2</sub>, respectivamente, através da eletrólise da solução líquida de metanol.<sup>2</sup>

A compilação de abordagens relacionadas ao desenvolvimento do Carbono Verde destaca efetivamente a importância dessa alternativa sustentável para alcançar os

objetivos da química verde. Esses avanços representam progressos significativos na utilização de recursos renováveis para mitigar os impactos ambientais e reduzir a dependência dos combustíveis fósseis.

## Contribuições por Autor

A resenha sobre o artigo em referência e a inclusão de detalhes obtidos por artigos auxiliares são de Paulo Resende Neto.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

## Agradecimentos

Ao grupo PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) pelo apoio ao Programa de Educação Tutorial pela bolsa concedida. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

## Notas e referências

- 1 E. J. Lenardão, R. A. Freitag, M. J. Dabdoub, A. C. F. Batista and C. D. C. Silveira, 'Green chemistry': os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa, *Quím. Nova*, 2003, **26**, 123–129. R. F. W. Bader, *Atoms in Molecules: A Quantum Theory*,
- 2 P. Gao, L. Zhong, B. Han, M. He and Y. Sun, Green Carbon Science: Keeping the Pace in Practice, *Angew Chem Int Ed*, 2022, **61**, e202210095.
- 3 **World Energy Outlook 2021** – Analysis, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>, (accessed March 20, 2024).
- 4 **Global Hydrogen Review 2021** – Analysis, <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>, (accessed March 20, 2024).
- 5 M. He, Y. Sun and B. Han, Green Carbon Science: Efficient Carbon Resource Processing, Utilization,

and Recycling towards Carbon Neutrality, *Angewandte Chemie*, 2022, **134**, e202112835.

- 6 G. J. Suppes and T. S. Storvick, Eds., in Sustainable Nuclear Power, *Academic Press*, Burlington, 2007, pp. 75–117.
- 7 Fischer-Tropsch synthesis, [https://www.etipbioenergy.eu/images/ETIP\\_B\\_Factsheet\\_FT\\_R1.pdf](https://www.etipbioenergy.eu/images/ETIP_B_Factsheet_FT_R1.pdf) (accessed 1 April 2024).
- 8 10.2. Fischer-Tropsch Synthesis, <https://netl.doe.gov/research/carbon-management/energy-systems/gasification/gasifipedia/ftsynthesis>, (accessed 1 April 2024).