



IMPACTO DAS NOVAS TECNOLOGIAS PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE NO POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE GEE PELA CANA-DE-AÇÚCAR ATÉ 2042

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O setor sucroenergético brasileiro ocupa uma posição de destaque na matriz energética do país e nas estratégias de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). A cana-de-açúcar, principal matéria-prima para a produção de etanol e bioeletricidade, representa uma alternativa renovável e de baixa intensidade de carbono frente aos combustíveis fósseis. Em 2023, os derivados da cana responderam por cerca de 17% da matriz energética nacional, consolidando-se como um dos pilares da transição brasileira para uma economia de baixo carbono.

A relevância desse setor se torna ainda mais evidente no contexto dos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil. No final de 2024, o país revisou sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), comprometendo-se a reduzir as emissões líquidas de GEE entre 59% e 67% até 2035, em relação aos níveis de 2005. Para alcançar tal meta, será imprescindível ampliar a participação das energias renováveis na matriz energética, com destaque para os biocombustíveis.

Nesse cenário, a Política Nacional de Biocombustíveis – RenovaBio – surge como uma política pública estruturante, operando com base em três pilares: a definição de metas de descarbonização, a certificação de produtores e a emissão de créditos de descarbonização (CBios). Esses últimos referem-se à títulos emitidos com base no desempenho energético-ambiental da produção e comercializados em um mercado regulado, sendo adquiridos principalmente por distribuidores de combustíveis fósseis como forma de compensar suas emissões.

O avanço tecnológico e a demanda crescente por soluções sustentáveis abrem espaço para expandir o potencial ambiental do setor, impulsionando a produtividade e eficiência do setor. Essa expansão é viabilizada por inovações desenvolvidas pelo próprio setor, como o uso de sementes sintéticas no plantio, desenvolvimento biotecnológico e melhorias operacionais de manejo e produção industrial.

2. OBJETIVO E MOTIVAÇÕES DO ESTUDO

O presente estudo tem como objetivo avaliar o impacto do aumento da produtividade da cana-de-açúcar na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelo setor sucroenergético brasileiro, abrangendo tanto a etapa agrícola quanto a industrial. A análise busca quantificar os benefícios ambientais e energéticos viabilizados pela intensificação produtiva, que se baseia na adoção de tecnologias¹ como sementes, novas variedades genéticas, biotecnologia, melhorias no manejo e aumento da eficiência dos processos industriais.

[1] O estudo baseia-se em modelagens e cenários prospectivos desenvolvidos pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), considerando projeções até 2042 e a incorporação de tecnologias inovadoras voltadas para o setor sucroenergético.

Ao considerar uma janela de 20 anos, entre 2022 e 2042, o estudo se propõe a estimar o potencial de descarbonização sem necessidade de expansão da área cultivada, oferecendo subsídios técnicos e científicos para estratégias que promovam a competitividade do setor no mercado global de energias renováveis e que reforcem sua contribuição às metas climáticas.

3. METODOLOGIA

A análise adotou como base a ferramenta RenovaCalc, instrumento oficial da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) para quantificação da intensidade de carbono dos biocombustíveis. A partir dela, foram simulados dois cenários: o de referência (2022/2023) e o cenário projetado para 2042, com foco na mensuração dos impactos ambientais e energéticos a partir da adoção de novas tecnologias.

A avaliação considerou exclusivamente a produção de cana-de-açúcar no Centro-Sul do país, utilizando como premissas:

- (i) ausência de expansão da área cultivada;
- (ii) aumento de produtividade impulsionado por genética, biotecnologia, sementes e manejo avançado;
- (iii) ganhos incrementais na operação agrícola e industrial.

Foi construída uma base de dados composta por todas as certificações de usinas registradas no RenovaBio entre 2020 e 2024, por meio da compilação dos registros de certificação das empresas participantes do programa, complementada por dados de benchmarking da UNICA e estudos da Embrapa, que permitiram ajustar os parâmetros agrícolas.

Para o cenário de 2042, foram consideradas premissas de penetração progressiva das tecnologias nas etapas agrícola e industrial, resultando em ganhos de eficiência no manejo do campo e na operação das usinas. No caso da indústria, a melhoria foi assumida com base nos percentis superiores (20%) das unidades mais eficientes atualmente, com validação de especialistas do setor.

4. RESULTADOS

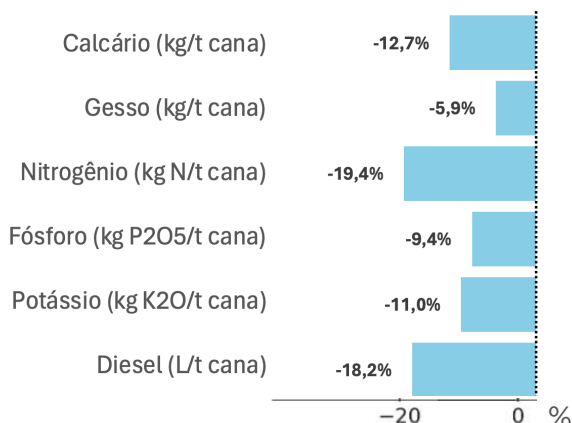
A adoção das tecnologias avaliadas assume um cenário de intensificação produtiva expressiva até 2042, sem ampliação da área cultivada. A produtividade média passaria de **74,6 t/ha em 2022** para **149,3 t/ha em 2042**, impulsionada pela combinação de tecnologias selecionadas, como adoção de sementes, genética, biotecnologia e inovações industriais. Com isso, a produção total de cana-de-açúcar no Centro-Sul passaria de 550,1 milhões para 1.059,2 milhões de toneladas.

Eficiência agrícola e uso de insumos

Observa-se melhora significativa na eficiência do uso de insumos por tonelada de cana, com reduções de 12,7% no consumo de calcário, 19,4% no uso de nitrogênio e 18,2% no consumo de diesel.

Na etapa industrial, estima-se um aumento de 6,3% no rendimento de etanol hidratado equivalente para cada tonelada de cana processada.

Gráfico 1.
Variação Percentual entre 2022/23 e 2043/42 dos insumos agrícolas



Potencial de emissões evitadas em 2042

Os resultados do modelo indicam um potencial de aumento na eficiência produtiva e nas emissões evitadas do setor sucroenergético no cenário 2042. Destaca-se o aumento de **129%** no potencial de emissões evitadas por hectare cultivado.

A intensificação da produção resulta na redução da intensidade de carbono média do etanol, de 22,2 para 18,5 gCO₂/MJ (-16,5%), atribuída especialmente às melhorias na eficiência do uso de diesel, fertilizantes e corretivos, combinadas ao aumento da produtividade, que dilui as emissões totais ao longo de uma maior produção de energia na área cultivada.

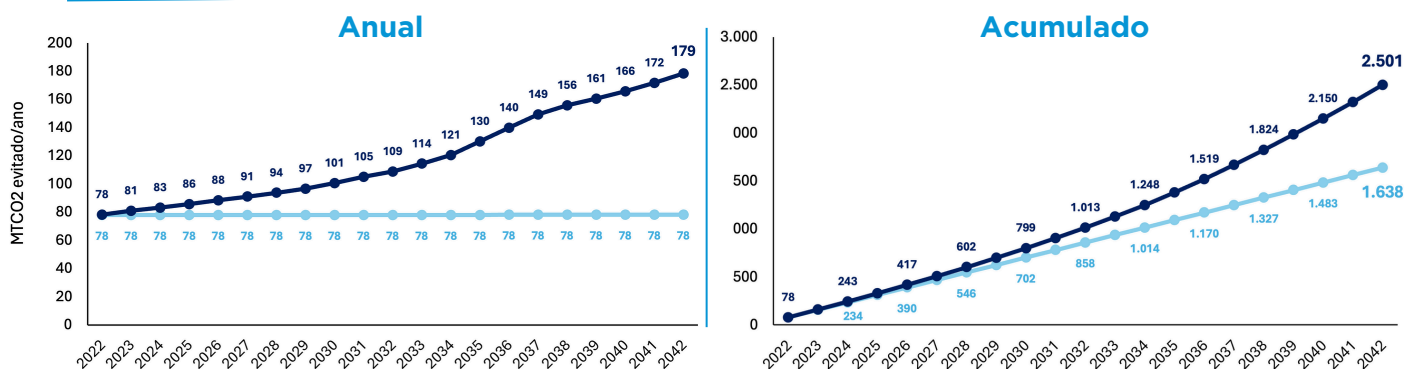
Tabela 1. Comparativo entre os cenários 2022 e 2042

DESCRIÇÃO	2022/2023	2042/2043	var (abs)	var (%)
DESCARBONIZAÇÃO ETANOL				
Intensidade de Carbono etanol (média) - gCO ₂ /MJ	22,2	18,5	-3,7	-17%
Nota Eficiência Energético Ambiental etanol (média) - gCO ₂ /MJ	65,2	68,9	3,7	6%
Emissão Evitada etanol (média) - kgCO ₂ /litro	1,4	1,5	0,1	6%
DESCARBONIZAÇÃO CANA-DE-AÇÚCAR				
Emissão Evitada cana-de-açúcar - kgCO ₂ /t de cana	141,7	168,6	26,9	19%
DESCARBONIZAÇÃO POR ÁREA				
Emissão Evitada por hectare cultivado - tCO ₂ /hectare	9,1	20,8	11,7	129%
PRODUÇÃO DE ENERGIA POR UNIDADE DE ÁREA				
Energia Útil Gerada por hectare cultivado - mil MJ/hectare	132,5	281,2	148,7	112%
EMIÇÃO EVITADA POR ANO				
Emissão Evitada por ano - assumindo 100% etanol (milhões t CO ₂)	78,0	178,6	100,6	129%
Emissão Evitada por ano - mix de produção atual/projetado (milhões t CO ₂)	46,1	109,6	63,5	138%

Considerando o cenário com 100% da cana-de-açúcar destinada à fabricação de etanol e bioeletricidade, as emissões evitadas aumentam de 78 MtCO₂/ano para **179 MtCO₂/ano**, mais que dobrando em comparação com o período base. Outro ponto de destaque é o aumento na energia útil gerada por hectare cultivado, que aumenta em 112%, alcançando 281 mil MJ/ha em 2042. Esse resultado reflete a maior produção de biomassa e a melhoria no rendimento industrial.

Já o impacto cumulativo da adoção das tecnologias resultaria em um total de 863 MtCO₂ evitadas ao longo de 20 anos

Gráfico 2. Emissões evitadas considerando 100% etanol



No caso do cenário considerando o mix de produção, o potencial acumulado de emissões evitadas ao longo de 20 anos alcança um **total de 678 MtCO₂**, resultado da intensificação produtiva com adoção de tecnologias no campo e na indústria. Trata-se de um volume expressivo de mitigação, especialmente considerando que essa condição mantém a coexistência entre produção de etanol e açúcar.

Potencial de receita com a descarbonização

Por fim, considerando o potencial de emissões evitadas convertido em receita por hectare com a venda de CBios³, observa-se que esse valor pode aumentar de R\$ 909/ha para R\$ 2.082/ha em um cenário de uso integral da produção de cana para a fabricação de etanol (+129%). Considerando o cenário de mix de produção entre etanol e açúcar, a receita por hectare apresenta um aumento de 81,5%, passando de R\$ 482/ha para R\$ 874/ha.

[3] Considerando o valor de R\$ 100,00 por unidade de CBio.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do estudo evidenciam que o aumento da produtividade da cana-de-açúcar, viabilizado pela combinação de tecnologias como sementes, genética avançada, biotecnologia e melhorias industriais, representa uma oportunidade concreta para ampliar significativamente a contribuição do setor sucroenergético à descarbonização do Brasil.

A intensificação produtiva sem expansão de área permite reduzir a intensidade de carbono do etanol, aumentar a geração de bioeletricidade e aumentar as emissões evitadas por hectare cultivado, consolidando a cana como um dos vetores eficientes de energia renovável do país.

O diferencial está na convergência dessas inovações: nenhuma tecnologia isoladamente alcançaria os ganhos observados. A sinergia entre os avanços agrícolas e industriais é o que torna possível elevar a energia útil por hectare em mais de 100% e evitar a emissão de quase 180 milhões de toneladas de CO₂ por ano até 2042. Esses resultados posicionam o setor como um importante protagonista nos esforços de mitigação das mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que amplia sua competitividade econômica e relevância no mercado global de bioenergia.

Cabe destacar que as estimativas apresentadas neste estudo são conservadoras e podem ser ampliadas no futuro com a inclusão de outros vetores de descarbonização, como o carbono no solo e tecnologias emergentes de transformação, a exemplo do biogás, biometano e BECCS. A incorporação desses elementos pode reforçar ainda mais o papel do setor sucroenergético na transição para uma economia de baixo carbono.

“À luz dos desafios climáticos do século XXI e da urgência em consolidar modelos produtivos sustentáveis, este estudo evidencia como o emprego de ciência e tecnologia pode ampliar significativamente o potencial econômico e ambiental da indústria sucroenergética nas próximas duas décadas. A transformação, impulsionada por tecnologias como sementes, melhoramento genético e biotecnologia, poderá intensificar o uso da terra, aumentar a receita do produtor e reforçar o papel estratégico do setor na luta contra o aquecimento global. Essa convergência entre sustentabilidade e inovação será essencial para que a transição energética ocorra de forma pragmática, escalável e com identidade brasileira”



LUCIANO RODRIGUES

Coordenador do núcleo de estudos em Bioenergia no Observatório de Bioeconomia da Fundação Getúlio Vargas (FGVBioeconomia)





FGV

***CENTRO DE ESTUDOS
DO AGRONEGÓCIO***