



# BALANÇO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO POTENCIAL DE ETANOL DE AGAVE NO BRASIL

**Palavras-Chave: BIOCOMBUSTÍVEIS, SUSTENTABILIDADE, ENERGIA RENOVÁVEL**

**Autores(as):**

**DIOGO GRANER TANNUS SILVA, DE – FEM**

**Prof. Dr. JOAQUIM EUGENIO ABEL SEABRA, DE - FEM**

---

## INTRODUÇÃO:

A preocupação com o futuro da segurança energética e a necessidade de mitigar as mudanças climáticas têm conduzido a um interesse crescente por fontes renováveis de energia ao redor do mundo. No Brasil, a presença de fontes renováveis de energia já é significativa, com destaque para os derivados da cana-de-açúcar, que representam uma parcela considerável da matriz energética do país. No entanto, existem outras biomassas com grande potencial para serem exploradas no contexto nacional, de modo a contribuírem para diversos objetivos socioambientais.

As plantas que utilizam o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) para a assimilação de carbono, têm sido mencionadas na literatura como potências para a produção de alimentos, fibras e bioenergia em terras marginais, uma vez que são tipicamente mais abundantes naqueles ambientes com mais restrição à água do que à luz para o crescimento (WEST-EBERHARD; SMITH; WINTER, 2011). Embora atualmente a maioria dos agaves cultivados seja destinada à produção de fibras (*A. sisalana* e *A. fourcroydes*), ou à produção de bebidas alcoólicas (*A. tequilana*, *A. mapisaga* e uma matéria-prima promissora para a produção de bioenergia em regiões áridas e semiáridas: pode ser cultivado com pouca ou nenhuma irrigação, é menos suscetível ao ataque de ervas daninhas e contém açúcares solúveis compatíveis com essa indústria (SOMERVILLE et al., 2010; YAN et al., 2020).

No Brasil, a exploração do sisal (*A. sisalana*) concentra-se em regiões onde as condições de clima e solo são pouco favoráveis (interior da Bahia) e, além disso, envolve um baixo nível tecnológico, resultando em baixa produtividade. Entretanto, internacionalmente, produtividades muito superiores, chegando a 15-17 Mg de biomassa seca por hectare por ano para *A. sisalana* e *A. fourcroydes*, e 25 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de média para *A. tequilana*, *A. mapisaga* e *A. salmiana*, são reportadas (YAN et al., 2011). Indo mais além, sob condições controladas de irrigação, fertilização e espaçamento ideal de plantas,

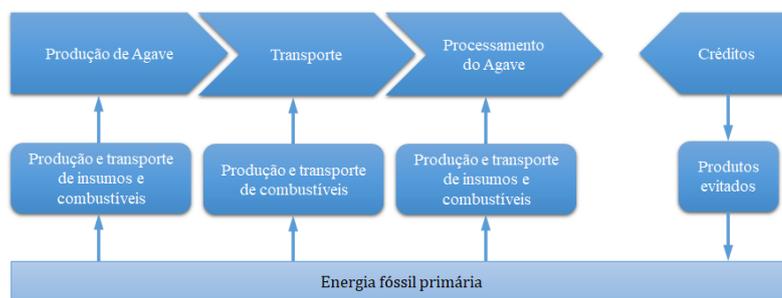
produtividades de até 38-42 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> podem ser alcançados (NOBEL; GARCÍA-MOYA; QUERO, 1992).

Comparações entre a produção do etanol de agave e do etanol de milho, switchgrass e cana-de-açúcar, sugeriram, para contextos de cultivo de agave em diferentes países, que seu ciclo de vida pode apresentar desempenho comparável – ou até superior – ao do ciclo de vida do etanol dessas outras biomassas já mundialmente difundidas: menores emissões de gases de efeito estufa (GEE), balanço de energia mais eficiente e melhor rendimento de etanol (YAN et al., 2011, 2020). Diante desses resultados, pode-se inferir que existe um potencial relevante para a exploração da produção de agave para a bioenergia nas regiões áridas e semiáridas do Brasil, a partir da qual se poderiam obter importantes benefícios ambientais aproveitando-se, também, do baixo potencial de competição com a produção de alimentos.

Tendo em vista este potencial e a criação do projeto BRAVE – Programa Brasileiro para o desenvolvimento do Agave (*Brazilian Agave Development*), cujo objetivo é desenvolver uma nova cadeia agroindustrial baseada em espécies de Agave, concebeu-se a presente proposta. A partir da ligação com os subprojetos voltados à avaliação do desempenho ambiental da potencial cadeia agroindustrial, a pesquisa visa à avaliação do balanço energético do etanol de agave considerando sua potencial produção no contexto do semiárido do Nordeste brasileiro. Como meio de alcançar esse objetivo, alguns dos passos serão: estudo da cadeia produtiva do Agave em países produtores, estimativa do uso de insumos e energia na cadeia produtiva do Agave no contexto do semiárido brasileiro, estudo dos indicadores de desempenho energético e seus cálculos a partir do consumo de energia fóssil no ciclo de vida do etanol e comparações com outras cadeias produtivas.

## METODOLOGIA:

A avaliação do balanço energético do etanol de agave, abordagem “do berço ao portão”, isto é, de modo a contemplar desde o cultivo, colheita, transporte, até a conversão do etanol (**Figura 1**), requereu a compilação de uma grande quantidade de parâmetros, o tratamento e compreensão deles e, além disso, a execução dos cálculos. Para possibilitar a efetuação das etapas de pesquisas e de cálculos, bem como garantir a sua qualidade, foram utilizadas algumas plataformas digitais: Scopus, Google Acadêmico, Excel e, principalmente, OpenLCA.



**Figura 1:** Fronteiras do sistema de produto.

Conforme preconizado pelas normas ISO para a realização de estudos de avaliação do ciclo de vida (ACV), idealmente convém que a fronteira do sistema seja definida de tal maneira que as entradas e saídas sejam fluxos elementares e de produtos. Dessa maneira, neste estudo a fronteira do sistema foi definida de forma a contemplar o uso de energia primária ao longo do ciclo de vida dos insumos e energia

utilizados na cadeia produtiva do etanol. O programa BRAVE, por meio de seus subprojetos, ainda não produziu dados relevantes ao estudo, portanto os dados de primeiro plano (foreground) dos sistemas de produto foram baseados em informações provenientes da literatura para regiões/países tradicionais na produção do Agave. Sempre que possível, os sistemas de segundo plano (background) refletiram as condições brasileiras através dos inventários disponíveis na literatura e na base de dados do Ecoinvent.

Para a abordagem do etanol no presente estudo, foi utilizada a abordagem usual da literatura para o caso desse biocombustível,

$$RER = \frac{Bioenergy_{output}}{Fossil\ Energy_{input} - Fossil\ Credits_{non-energy\ coproducts}} \quad (1)$$

levando-se em conta a importância relativa dos co-produtos (CHUM et al., 2014; SEABRA et al., 2011) Assim, serão avaliados os indicadores de

$$NEB = \frac{Biofuel_{output} - (Fossil\ Energy_{input} - Fossil\ Credits_{coproducts})}{Biofuel_{output}} \quad (2)$$

$$NER = \frac{Energy_{output}}{Energy_{input}} \quad (3)$$

Renewable Energy Ratio (RER), Net Energy Balance (NEB) e Net Energy Ratio (NER), como descrito nas equações (1), (2) e (3). Além disso, é importante ressaltar que os indicadores utilizados foram tomados com referência na literatura (CHUM et al., 2014), mantendo-se o significado de cada termo: biocombustível refere-se ao etanol dos produtos, o input fóssil de energia refere-se à toda a porção fóssil de energia atribuída à utilização e ao ciclo de vida de cada processo e os créditos co-produtos referem-se à eletricidade. Análises comparativas (CHUM et al., 2014) foram realizadas para avaliar a aplicabilidade de melhorias aos respectivos cenários buscando aumentar o ganho energético propiciado pelo etanol de agave.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A partir da avaliação dos estudos previamente descritos, foi necessário alicerçar a coleta de informações para embasamento dos cálculos no método de pesquisa avançado Scopus. A aplicação desse procedimento consistiu em descrever, em formato de código, os filtros (através do operador “LIMIT-TO”, acompanhado do filtro requerido) e as palavras-chave (por meio do operador “TITLE-ABS-KEY”, aplicado às palavras-chave). Vale salientar a importância da correta utilização dos operadores “AND” e “OR”, uma vez que este tem função de abranger os textos que contenham ao menos uma das palavras-chave digitadas, enquanto aquele tem função de manter somente os textos que contenham todas as palavras-chave ao mesmo tempo.

Além da necessidade de obtenção dos dados, também foi crucial compreender o modelo de análise dos balanços de energia, principalmente aqueles no contexto da produção de energia através de biomassas, cuja cadeia contém várias etapas. Para tanto, foi desenvolvido um exercício, tomando como modelo de sistema e fonte de dados o artigo “*Life cycle energy and greenhouse gas analysis for agave-derived bioethanol*” (YAN et al., 2011). Primeiramente, foi realizada uma segmentação das etapas industrial, agrícola e de transporte da produção de bioetanol em processos que podem ser mensurados em termos

energéticos, e a separação da respectiva quantia requerida por cada um deles no estudo. Ademais, foi necessário definir um dos produtos como a unidade referente na etapa, de modo que a mesma metodologia pudesse ser aplicada a sistemas parecidos por meio da multiplicação de um fator de conversão pelo total de produto-referência.

A partir desse método, foi possível simular, no Excel, um modelo muito próximo ao usado pelo autor, de modo a contabilizar cada entrada e saída de seu sistema e, ao final do processo, verificar a clara relação entre os resultados obtidos em seu estudo original e os obtidos pela simulação do modelo (Figura 2). Paralelamente, ao simular na plataforma OpenLCA, foram selecionadas entradas e saídas equivalentes às do autor, porém cujas informações são provenientes de uma base de dados chamada EcoInvent38. Neste contexto, foi possível replicar o sistema de produção de bioetanol de Agave para o cenário brasileiro, posto que, através do uso dos processos de “mercado” (Figura 3) do inventário, que representam o mix de consumo de um produto em uma determinada geografia, torna-se viável trazer um background de fornecedores e consumidores brasileiros, além das importações para o Brasil, quando necessárias.

Ademais, uma abordagem mais profunda da análise de impacto fornecida pelo OpenLCA possibilitou a comparação (Figura 4) da potencial cadeia de produção de etanol de *A. tequilana* em território brasileiro com outros sistemas de produção já estudados na literatura (milho nos EUA e a cana-de-açúcar no Brasil)

através de um mapa de valores dos indicadores RER e NEB (CHUM et al., 2014). Vale ressaltar que os indicadores RER e NEB resultaram em 4,31 e 0,90 respectivamente: valores, em geral, mais altos que o observado em sistemas comuns que usam o milho (CHUM et al., 2014; YAN et al., 2011). Ademais, ainda que o RER projetado não se aproxime de sistemas que utilizam a cana de açúcar, o NEB mostrou-se suficientemente próximo deles e pouco menor que 1 (produz uma quantia de coprodutos fósseis pouco menor do que o valor energético fóssil inputado). Por fim, o indicador NER mostrou-se menor que o RER, em 3,89, pois existe uma pequena porção de input energético renovável sendo contabilizado.

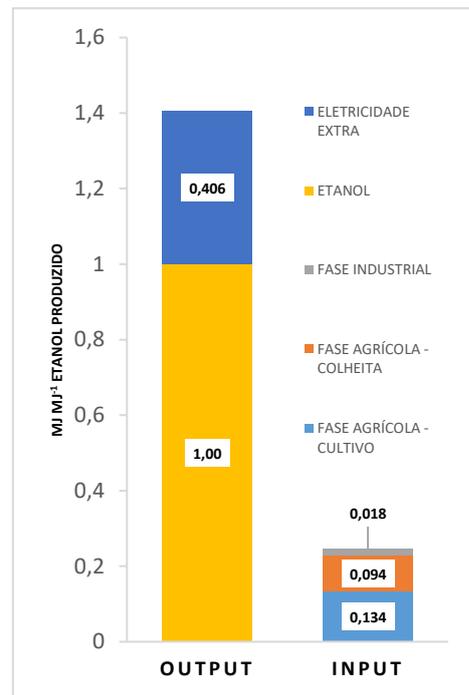


Figura 2: Input e output de energia por MJ de etanol produzido pelo sistema de produto de Agave.



Figura 3: Modelo gráfico do sistema de produto, software OpenLCA

## CONCLUSÃO:

O projeto sobre o estudo e avaliação do ciclo de vida da cadeia produtiva de etanol de agave foi crucial para o desenvolvimento de um potencial sistema de produção semelhante, porém no contexto do

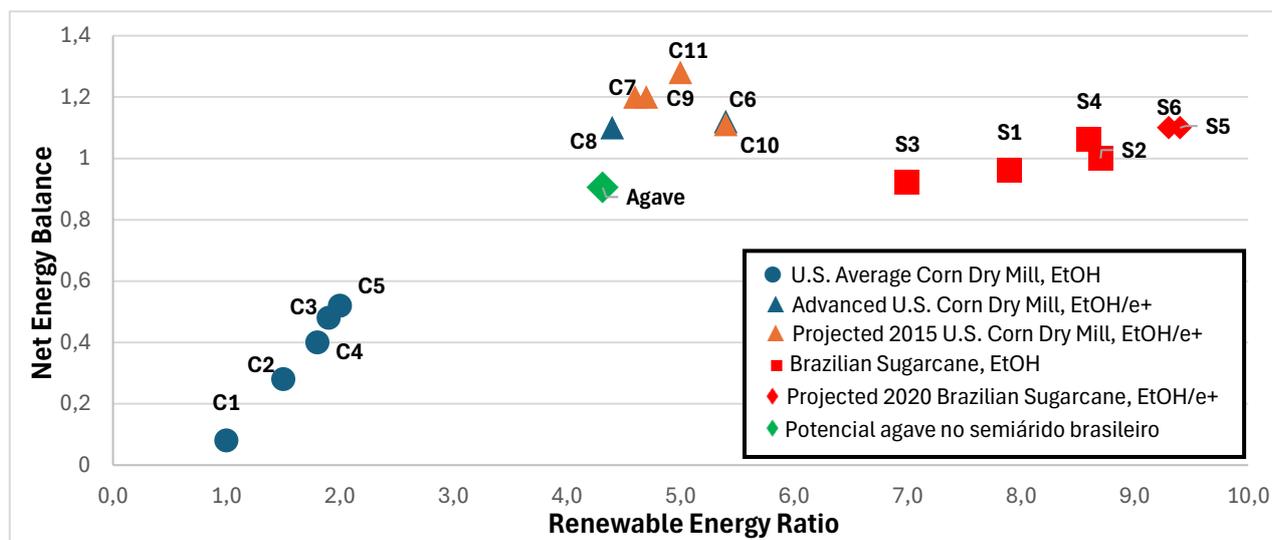


Figura 4: Comparações do RER e NEB do ciclo de vida de sistemas de etanol de milho e cana-de-açúcar.

semiárido brasileiro. A revisão do modelo proposto pela literatura pelo Excel possibilitou a validação do modelo e das premissas criadas.

A reprodução deste para o cenário nacional na plataforma OpenLCA, permitiu que estimativas e comparações relevantes fossem feitas. Portanto, o estudo forneceu conhecimentos fundamentais para a melhor compreensão de avaliações de ciclo de vida, bem como análises de balanço energético.

## BIBLIOGRAFIA:

CHUM, H. L. et al. A comparison of commercial ethanol production systems from Brazilian sugarcane and US corn. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 8, n. 2, p. 205–223, mar. 2014.

NOBEL, P. S.; GARCÍA-MOYA, E.; QUERO, E. High annual productivity of certain agaves and cacti under cultivation. **Plant, Cell & Environment**, v. 15, n. 3, p. 329–335, 1992.

SEABRA, J. E. A. et al. Life cycle assessment of Brazilian sugarcane products: GHG emissions and energy use. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 5, n. 5, p. 519–532, set. 2011.

SOMERVILLE, C. et al. **Feedstocks for lignocellulosic biofuels**. **Science**, 13 ago. 2010.

WEST-EBERHARD, M. J.; SMITH, J. A. C.; WINTER, K. WestEberhardetal2011Sciencephotosynthesisreorganized. **Science**, v. 332, n. 6027, p. 311–312, 2011.

YAN, X. et al. Life cycle energy and greenhouse gas analysis for agave-derived bioethanol. **Energy and Environmental Science**, v. 4, n. 9, p. 3110–3121, set. 2011.

YAN, X. et al. Agave: A promising feedstock for biofuels in the water-energy-food-environment (WEFE) nexus. **Journal of Cleaner Production**, v. 261, 10 jul. 2020.