

# Avaliação ambiental do polietileno verde

I'm Green da Braskem

Resumo dos relatórios de avaliação de ciclo de vida,  
mudança do uso da terra e pegada hídrica

Novembro de 2013



Este é um resumo do relatório elaborado pela E4tech e pela LCAworks, em parceria com dois revisores especialistas (Professor Isaias Macedo e Professor Joaquim Seabra).

**Autores E4tech:**

Sabine Ziem  
Claire Chudziak  
Richard Taylor

Dr Ausilio Bauen

**Autores LCA works:**

Professor Richard Murphy

Dr Miao Guo

Mark Akhurst

**Contato:**

Sabine Ziem

E4tech

83 Victoria Street

London, SW1H 0HW

sabine.ziem@e4tech.com

## Índice

Introdução.....	4
Equipe Técnica .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Objetivos .....	4
Análise de ciclo de vida - ACV.....	5
Escolhas de unidade funcional, dados e metodologia.....	5
Resultados .....	7
Análise de cenários .....	9
Principais conclusões .....	9
Impactos do Potencial de Aquecimento Global (GWP <sub>100</sub> ).....	9
Todas as categorias .....	10
Análise de Sensibilidade.....	11
Impactos do transporte.....	11
“Pontos críticos” ( <i>Hotspots</i> ).....	11
Principais limitações deste estudo.....	11
Análise da mudança do uso da terra.....	13
Método.....	13
Abordagem.....	13
Dados – Mudanças Diretas do Uso da Terra (dLUC) .....	14
Dados – Mudanças Indiretas do Uso da Terra (iLUC).....	14
Resultados – dLUC (“caso atual”).....	14
Resultados – iLUC (“caso atual”).....	15
Resultados – “caso futuro” .....	15
Conclusões e limitações do estudo .....	16
Pegada hídrica.....	17
Metodologia.....	17
Resultados .....	18
Conclusões e limitações do estudo .....	19
Conclusão .....	21

## Introdução

A fim de compreender melhor o perfil ambiental de suas resinas de polietileno produzidas a partir de matéria-prima de fonte renovável (etanol de cana-de-açúcar), a Braskem encomendou três estudos individuais, porém relacionados:

1. Estudo completo de Avaliação de ciclo de vida, de acordo com as normas ISO 14040/44
2. Avaliação específica da mudança do uso da terra em linha com as Diretrizes da União Europeia para Energia Renovável (EU *Renewable Energy Directive*)
3. Avaliação específica de Pegada hídrica, com base na metodologia chamada *Water Footprint Network*

## Equipe Técnica

Os estudos foram elaborados pela E4tech, empresa de consultoria técnica em energia e materiais sustentáveis localizada no Reino Unido e na Suíça, e pela LCAworks, empresa de consultoria em meio ambiente localizada no Reino Unido. As empresas basearam-se em dados coletados de diversos fornecedores de etanol da Braskem, além de dados da Braskem sobre os processos de produção das resinas de polietileno, além de terem colaborado entre si de maneira próxima e contando com dois especialistas brasileiros independentes. Os três estudos investigam os diferentes impactos ao longo do ciclo de vida do *berço ao portão* da produção das resinas de polietileno verde de alta densidade (PEAD) e de baixa densidade linear (PEBDL).

## Objetivos

Os principais objetivos dos três estudos foram:

- Obter mais informações sobre os principais impactos da produção das resinas de polietileno verde em uma série de categorias de impacto ambiental;
- Considerar os perfis ambientais de novos PEs de fonte renovável e, no caso da ACV, em comparação aos perfis ambientais de PEs de fontes petroquímicas convencionais (com base no PE de fonte petroquímica da Braskem produzido na unidade de Triunfo, Rio Grande do Sul, Brasil);
- Compreender algumas questões ambientais mais amplas relacionadas à introdução da produção de PE de fonte renovável;
- Avaliar oportunidades de melhoria do perfil ambiental no futuro.

## Avaliação de ciclo de vida – ACV

O estudo de ACV foi conduzido com base na norma ISO 14040/44 e complementado por trechos relevantes das normas BS EN 16214 (Minuta), BS EN 15804 (2012), PAS 2050 (2011), do GHG Protocol - Product Standard e do Sistema Internacional de Referência de Dados de Ciclo de Vida (ILCD).

De acordo com a norma ISO 14044, uma revisão crítica de 3ª parte (critical review panel – CRP) foi conduzida para este estudo e realizada em três estágios:

1. Objetivo e Escopo: relatório de Objetivo e Escopo foi emitido em janeiro de 2012,
2. Inventário: o relatório de revisão dos dados iniciais do inventário foi concluído em maio de 2013,
3. Avaliação dos dados (ACV): a revisão final do relatório de ACV e a declaração do CRP foram emitidas em novembro de 2013.

O CRP é formado pelos seguintes especialistas:

- Andreas Detzel, IFEU, Alemanha
- Prof Ramani Narayan, Universidade do Estado de Michigan, EUA
- Martina Krueger, IFEU, Alemanha (em substituição ao Prof Masahiko Hirao, Universidade de Tóquio, Japão, desde outubro de 2013)

## Escolhas de unidade funcional, dados e metodologia aplicada

A unidade funcional escolhida para o estudo foi 1 kg de resina de PE de fonte renovável da Braskem, conhecido comercialmente como “Polietileno Verde l’m green<sup>TM</sup>”.

Primeiramente, o estudo concentra-se nos potenciais de emissões e a captura<sup>1</sup> relacionadas à produção de polímeros de fonte renovável. Além disso, visa também compreender as implicações mais amplas do novo sistema produtivo de PE de fonte renovável, e não apenas os aspectos atribuídos ao perfil ambiental que visa o atendimento às normas ambientais (exemplo às Diretrizes EU Renewable Energy Directive para regulamentação de biocombustíveis).

Sendo assim, este estudo de ACV considera os aspectos relacionados à introdução do PE de fonte renovável que podem impactar na captura e emissões de carbono de uma forma mais abrangente e não somente no sistema produtivo. Atenção especial foi dada as possíveis implicações associadas aos coprodutos, a captura de carbono nos produtos de PE

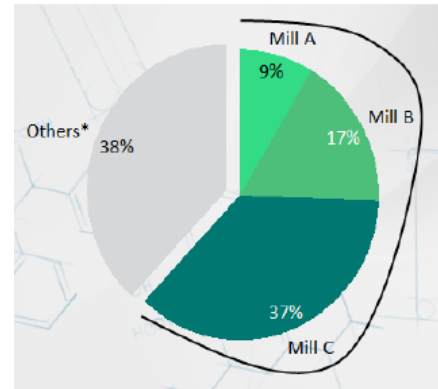
---

<sup>1</sup> O termo “captura” é utilizado aqui para designar o que é comumente conhecido como “sequestro de carbono”. Uma vez que este estudo tem o escopo *berço ao portão* o termo “sequestro” é evitado para que não seja criada a falsa percepção de armazenagem “permanente” do CO<sub>2</sub> da atmosfera, quando, na verdade, este CO<sub>2</sub> pode ser liberado novamente, dependendo do destino do produto de PE ao final da sua vida útil.

verde e aos efeitos da mudança do uso da terra de forma direta e indireta ( dLUC e iLUC, em inglês). Uma abordagem importante na apresentação dos resultados da ACV do PE verde é o crédito gerado da eletricidade devido à cogeração a partir do bagaço produzido na produção de etanol e fornecida à rede elétrica Brasileira.

Os resultados do estudo de ACV, da Mudança do Uso da Terra e Pegada Hídrica baseiam-se em dados de três usinas individuais responsáveis por mais de 60% do fornecimento de etanol adquirido pela Braskem.

Seus dados correspondem ao ano-safra de 2011/12, e refletem a média de um ciclo agrícola de cana-de-açúcar de 6 anos. Para completar as informações sobre etanol, consideramos um conjunto de dados da região centro-sul do Brasil, representando a oferta média de etanol desta região (que produz mais de 80% do etanol de cana-de-açúcar brasileiro). Esses dados determinam a "média ponderada Braskem" de fornecimento de etanol, com base nos volumes de etanol fornecidos por essas diversas usinas de cana-de-açúcar.



Os dados de produção do PE verde da Braskem referem-se ao ano de produção de 2012, demonstrando um processo de fabricação estável. Esses dados podem ser considerados representativos à produção durante o período de 2011 a 2015. Uma vez que as operações da planta de produção de eteno de fonte renovável tiveram início em 2011, a produção de 2012 ainda compreendia períodos de melhoria e ajuste de processos, e estes foram considerados.

A análise inclui o PEAD verde produzido pelo processo *slurry* (Hostalen), e o PEAD ou PEBDL verdes produzidos pelo processo de fase gás (Spherilene), até os portões das unidades da Braskem, na forma pronta para manipulação e embalagem para distribuição aos usuários. A análise revelou apenas pequenas diferenças entre os resultados de produção *slurry* e *spherilene* de PE verde em todas as categorias de impacto, com os demais fatores mantendo-se constantes. Por esse motivo, os dados relacionados à produção pelo processo *spherilene* não foram apresentados neste relatório resumido.

As resinas convencionais de PEAD e PEBDL produzidas pela Braskem a partir de nafta também foram avaliadas neste estudo como parâmetros de comparação, sendo referidas, respectivamente, como PEAD petroquímico e PEBDL petroquímico. Da mesma forma, este relatório resumido apresenta somente o PEAD, uma vez que as diferenças entre os PEs petroquímicos são relativamente pequenas.

Foram realizadas diversas análises de sensibilidade, visando garantir a qualidade dos resultados e a produção de um estudo transparente e robusto que melhor represente as condições do Brasil e a realidade da Braskem.

Este sumário executivo apresenta os resultados detalhados gerados para o “Caso base”, conforme definido a seguir:

**1 kg de PEAD Verde (processo *slurry*, “média ponderada Braskem” de fornecimento de etanol) considerando a captura de CO<sub>2</sub> pelo polímero, os créditos da cogeração de energia e a mudança do uso da terra.**

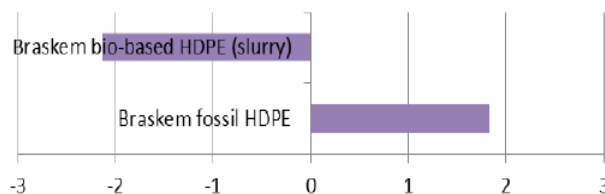
## Resultados

Os gráficos abaixo apresentam a comparação entre o “Caso Base” de PE verde produzido pelo processo *slurry* (Braskem bio-based HDPE(*slurry*)) e o PE petroquímico da Braskem (Braskem fossil HDPE) tendo bases comparáveis para uma mesma planta. Os resultados estão expressos como resultados da Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida.

Vale observar que essas categorias de impacto são sempre consideração de impactos “potenciais”, pois estes não são mensurados diretamente no meio ambiente. Também não é possível simplesmente inferir a sustentabilidade desses processos nas localidades relevantes a partir destes resultados. Isso exigiria uma pesquisa mais aprofundada, específica à localidade.

### Potencial de Aquecimento Global (kg de CO<sub>2</sub>eq /kg de PE)

Esta categoria apresenta as emissões de gases de efeito estufa (GEE) dos dois produtos de PE. Para o PE verde o número é negativo.

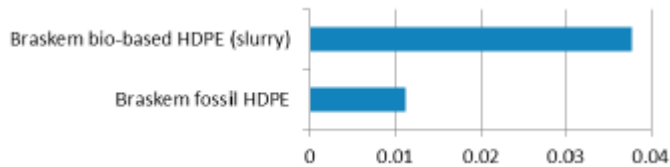


Os principais motivos são a “captura” de carbono da atmosfera e sua incorporação ao polímero, além da cogeração de energia elétrica nas usinas de cana-de-açúcar e pelas mudanças diretas do uso do solo.

(Metodologia de cálculo: IPCC 2007)

### Potencial de Acidificação (kg de SO<sub>2</sub>eq /kg de PE)

Esta categoria descreve o potencial de alteração química no meio ambiente (principalmente em rios e lagos), resultante da produção de íons de hidrogênio em um nível mais alto do que a capacidade de dispersão ou neutralização no meio ambiente.

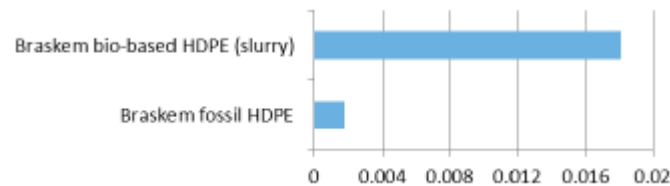


(Metodologia de cálculo: CML 2001)

O impacto nessa categoria é causado, principalmente, por emissões de SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>. No caso do PE verde (Braskem bio-based HDPE (slurry)), tais emissões resultam da queima do bagaço, queima de combustíveis fósseis por maquinário agrícola e queima da palha no campo.

### Potencial de Eutrofização (kg de PO<sub>4</sub>eq/kg de PE)

Esta categoria demonstra o potencial de enriquecimento da terra e de corpos d'água por compostos de nitrogênio e fósforo, a partir de emissões atmosféricas e escoamento superficial. Este enriquecimento pode aumentar a produção de algas que retiram o oxigênio da água, privando outras vidas aquáticas de oxigênio.

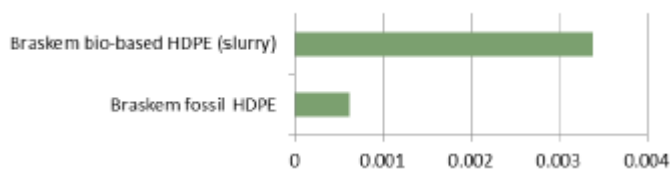


(Metodologia de cálculo: CML 2001)

As emissões que aumentam a categoria de eutrofização do PE de fonte renovável são provenientes, necessariamente do cultivo da cana-de-açúcar e principalmente das emissões de fosfato e fósforo.

### Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico (kg de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>eq/kg de PE)

A formação de ozônio fotoquímico é causada pela degradação de compostos orgânicos (VOCs) na presença de luz e óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), causando o impacto local de "névoa fotoquímica de verão" (summer smog) e o impacto regional de aumento dos níveis de "ozônio troposférico".



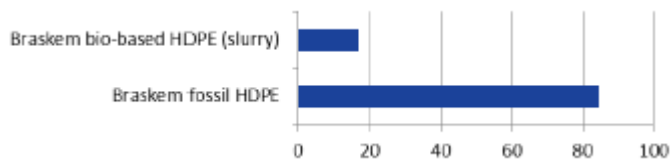
Metodologia de cálculo: CML 2001

No caso do PE verde, os principais fatores que contribuem para essa categoria de impacto são o cultivo da cana-de-açúcar e a produção de etileno verde, sendo a produção de cana-de-açúcar o principal fator de contribuição, devido à emissão de monóxido de carbono resultante da queima da palha no campo.



## Demanda por Energia Fóssil (MJ/kg de PE)

A demanda por energia fóssil representa uma redução destas reservas finitas. O cálculo para o PE petroquímico inclui a energia inserida na matéria-prima petróleo convertida no polímero, além da energia de origem fóssil consumida no processo produtivo. Para o PE Verde o cálculo também considera a energia utilizada no processo produtivo que consiste no cultivo da cana-de-açúcar, no transporte do etanol, na produção do eteno verde e no processo de polimerização, porém a energia inserida na sua matéria prima é renovável (etanol de cana-de-açúcar).



Sendo assim, o gráfico nos mostra um uso reduzido de energia fóssil para o PE verde, pois 80% da energia consumida no processo produtivo, é também de fonte renovável (bagaço da cana).

Vale lembrar que para ambos os polímeros compartilham o mesmo processo de polimerização, ou seja, nesta fase os dois possuem a mesma demanda por energia fóssil.

## Análise de cenários

A avaliação de diversos cenários possibilita obter mais informações sobre pontos de interesse específicos, assim como questões relacionadas às eventuais melhorias que podem ser alcançadas, ou se haverá mudança no perfil ambiental no futuro.

O cenário de **melhorias de curto prazo** sobre o “Caso base” revelou que uma série de medidas no cultivo da cana-de-açúcar e nas operações das usinas de etanol, além do processo de conversão do eteno verde em polietileno verde, podem contribuir para uma melhoria de 10-20% em todas as categorias de impacto analisadas.

Da mesma forma, a análise do cenário de longo prazo considerando a **perspectiva futura 2020** revelou que existem diversas oportunidades para melhoria contínua do desempenho ambiental do PE verde para este período ou até mesmo além dele.

## Principais conclusões

As principais conclusões tiradas deste estudo de ACV *do berço ao portão* foram:

### Potencial de Aquecimento Global (GWP<sub>100</sub>)

- Os dois tipos de PE verde (PEAD slurry e spherilene) e o PEBDL (spherilene) da Braskem modelados considerando a captura de CO<sub>2</sub> pelo polímero, os créditos da cogeração de energia e a mudança do uso da terra levaram a um indicador GWP100 negativo.
- O PE verde no seu Caso Base tem um potencial de captura de CO<sub>2</sub> da atmosfera de 2,15kg de CO<sub>2</sub>e/kg de PE Verde. As emissões resultantes da produção do PE verde -

produção de cana-de-açúcar, produção de etanol, produção do Eteno Verde e produção do PE verde - são mais do que compensadas pelo CO<sub>2</sub> absorvido da atmosfera e fixado no polímero verde.

- De acordo com a abordagem metodológica do estudo é designado um crédito ao etanol de cana-de-açúcar pelas emissões evitadas com a geração de energia elétrica das usinas de gás natural, devido à cogeração de energia elétrica verde pelo uso do bagaço da cana-de-açúcar. Tal benefício equivale à compensação de aproximadamente 25% das emissões GWP100 da produção do PEAD de fonte renovável (slurry), considerando o fornecimento médio de etanol da Braskem.
- As mudanças nos estoques de carbono do solo durante o cultivo da cana-de-açúcar, calculado pelo estudo específico do impacto da mudança do uso da terra (mais informações abaixo), também contribuíram positivamente para o balanço total de GWP100 do PE verde através da compensação de cerca de 40% das emissões GWP100 da produção de PE verde, considerando o fornecimento médio de etanol da Braskem.
- Se comparado ao PE petroquímico da Braskem usado como referência neste estudo, que demonstrou um impacto de GWP<sub>100</sub> de 1,83 kg CO<sub>2</sub>e/kg PE, o benefício em termos de GWP<sub>100</sub> do PE verde “Caso base” Braskem é uma captura de 3,98 kg de CO<sub>2</sub>eq
- Ao mencionar os resultados do balanço de GWP100, é preciso clareza na apresentação dos cálculos e metodologia aplicada considerando os créditos obtidos ao longo do processo produtivo e a fronteira de berço ao portão. Uma parcela significativa das emissões GWP100 negativas associadas ao PE verde deve-se ao carbono biogênico capturado da atmosfera e fixado no polímero verde. Este estudo, devido a sua fronteira, não considera a liberação final desse carbono na atmosfera, o que poderia ocorrer na destinação final do produto fabricado a partir do PE verde. Obviamente, isso também se aplica ao final da vida de um produto fabricado a partir de PE petroquímico.

### Todas as categorias

O PE verde demonstra benefícios em termos de Potencial de Aquecimento Global (GWP) e Depleção Abiótica, porém o equivalente petroquímico apresenta desempenho melhor ou igual nas demais categorias de impacto.

Embora as questões do GEE/Potencial de aquecimento global e da Depleção Abiótica sejam os fatores que mais impulsionam a utilização de matérias primas verdes, é importante manter uma perspectiva equilibrada em uma série de impactos ambientais. A ponderação relativa de diversos indicadores ambientais tem sido tópico de debates acadêmicos há muitos anos, e já houve tentativas de criar análises integradas com base em diferentes abordagens de ponderação. Na prática, a importância relativa de cada categoria de impacto varia de acordo com as condições locais específicas, devendo ser interpretada e ponderada cuidadosamente nesse contexto. Além disso, a importância dos impactos absolutos deve ser compreendida, embora quanto menor for o impacto, melhor.

### Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade realizada permite uma relativa segurança de que os resultados não variam significativamente em torno de um pequeno número de premissas ou dados (possivelmente incertos). De maneira geral, as conclusões baseadas nos resultados são razoavelmente insensíveis aos dados críticos, limites e premissas.

### Impactos do transporte

Frequentemente é levantada a questão sobre o impacto referente ao transporte. As contribuições relativas ao transporte nas seis principais categorias de impacto ambiental para o PE verde concentram-se, principalmente, no transporte de etanol por trem dentro do território brasileiro,. A exportação de PE verde , saindo da planta no Brasil com destino a portos internacionais relevantes, acrescenta apenas 2-4% ao perfil de emissões GWP<sub>100</sub>.

### “Pontos críticos” (Hotspots)

Em ordem aproximada de importância em relação aos seus impactos:

PONTOS CRÍTICOS	Categorias de Impacto
Queima de palha e bagaço	GWP, Potencial de Acidificação, Potencial de Eutrofização, Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico
Uso de fertilizantes e pesticidas e emissões do solo/campo	Potencial de Eutrofização
Consumo de óleo diesel	GWP, Potencial de Depleção Abiótica
Uso de gás natural	GWP, Depleção Abiótica
Transporte	GWP, Potencial de Depleção Abiótica, Potencial de Acidificação, Potencial de Eutrofização
Uso de eletricidade da rede	GWP, Depleção Abiótica, Potencial de Acidificação, Potencial de Eutrofização

### Principais limitações deste estudo

Este resumo é baseado em um estudo de ACV extenso e detalhado. No entanto, assim como a maioria dos estudos de ACV, algumas limitações relevantes estão relacionadas à metodologia e escolha dos dados, aspectos de qualidade dos dados e a interpretação realizada.

- Há incertezas (detalhadas nas análises de sensibilidade) associadas aos dados obtidos para algumas das principais substâncias e processos (ex. lixiviação de fosfato com o uso de fertilizantes, emissões atmosféricas no campo, queima do canavial anterior à colheita (cada vez menor) e combustão do bagaço). Uma pesquisa ainda mais aprofundada resultaria em valores mais confiáveis, e em muitos casos exigiria novas mensurações. A análise de sensibilidade demonstrou que, embora o balanço geral de resultados da AICV tenha sido relativamente estável em relação a diversos desses valores, alguns efeitos identificáveis foram observados para uma ou duas categorias individuais de impacto. De maneira geral, tais fatos por

si só não reverterem à tendência das descobertas.

- As metodologias utilizadas na análise do inventário e no desenvolvimento de resultados característicos, bem como sua interpretação, tem sido pesquisada e estudada ativamente pela comunidade de ACV. No momento, não existe um consenso universal sobre qual a abordagem mais adequada. Este estudo buscou selecionar categorias de impacto e abordagens metodológicas que fossem consistentes com os padrões e diretrizes estabelecidos na Europa e internacionalmente. As escolhas metodológicas utilizadas neste estudo estão explicitamente descritas no relatório completo de ACV. Além disso, uma série de categorias de impacto “adicionais”, além das seis principais, também foram exploradas no trabalho (ex. ecotoxicidade). Também foi realizada uma análise de sensibilidade através de um método alternativo de AICV (ReCiPE), sustentando a direção geral dos resultados obtidos.
- A escolha da abordagem em relação aos coprodutos, principalmente a energia elétrica verde fornecida à rede elétrica brasileira (cogeração do bagaço de cana-de-açúcar), constitui um importante aspecto metodológico que afeta os resultados. O estudo aplica a abordagem de expansão de sistema para a cogeração de energia elétrica, considerando que este seja um elemento relevante na rede elétrica brasileira, tendo sido já reconhecido e aplicado em estudos similares, tanto no Brasil quanto em outros países. No entanto, a fim de garantir a transparência e como análise de sensibilidade, os resultados também são apresentados e discutidos através da abordagem de alocação no relatório completo de ACV.
- Os resultados e conclusões obtidos a partir deste estudo refletem as escolhas de sistema e metodologia realizadas. Outras abordagens metodológicas, premissas, limites de sistema e/ou categorias de impacto poderão resultar em resultados diferentes.
- A perspectiva *de berço ao portão* deste estudo de ciclo de vida reflete adequadamente as fases do ciclo de vida de um produto que encontra-se sob influência direta da Braskem, enquanto fabricante e fornecedora de polietilenos de origem renovável e petroquímica. Considerando um estudo de *berço ao portão*, não foram considerados os impactos associados às fases de uso e fim da vida que compõem o ciclo de vida completo de um produto.

## Análise da mudança do uso da terra

### Método

Outro estudo foi conduzido para avaliar os impactos locais da mudança no uso da terra ocasionada pela demanda da Braskem por etanol de cana-de-açúcar para a produção do PE verde. Tal estudo estima as mudanças no estoque de carbono das terras afetadas direta e indiretamente pelas demandas diretas de etanol pela Braskem. Um dos principais objetivos do estudo foi o de ajudar a Braskem a compreender melhor as necessidades de uso da terra para o PE verde e os consequentes impactos sobre o atual sistema agrícola brasileiro. Além disso, identificar as ações que possam aliviar a pressão no uso da terra e as emissões de carbono resultantes dessas mudanças no uso da terra.

### Abordagem

O estudo limita-se às mudanças no carbono orgânico do solo e nos estoques de carbono superficiais e subterrâneos, além disso quantifica as emissões diretas de carbono oriundas da conversão direta da terra para o cultivo da cana-de-açúcar (no inglês, direct land use change - dLUC), assim como os efeitos indiretos causados pelo deslocamento de pastos e lavouras para outras regiões do Brasil (no inglês, indirect land use change - iLUC). A fim de compreender os impactos das novas práticas de cultivo da cana-de-açúcar e a intensificação do sistema agrícola, tanto o caso atual (ano safra 2008 – 2011/12), quanto o caso futuro (2008-2020) foram calculados e utilizados nos devidos cenários do estudo de ACV. Os impactos de dLUC e iLUC foram calculados por kg de PE verde.

Os cálculos de dLUC foram realizados com base na diretriz da União Européia de 10 Junho 2012 para o cálculo de estoque de carbono no solo para compromisso do Anexo V da Diretriz 2009/28/EC. Os cálculos incluem mudanças no carbono orgânico do solo, estoques de carbono superficial e subterrâneo, além dos efeitos da queima de cana e lixo nos estoques de carbono. Foi levado em consideração que os estoques de carbono orgânico do solo atingem seu ponto de equilíbrio após cerca de 20 anos de cobertura ou uso consistente do solo.

É importante ressaltar que o modelo de cálculo do iLUC não encontra-se padronizado entre todos os profissionais e formuladores de políticas. Para este estudo, foi utilizada a abordagem de modelagem casual-descritiva da E4tech (E4tech, 2010<sup>2</sup>). Tal abordagem cria um modelo transparente da situação de uso local da terra nas plantações de cana-de-açúcar e do impacto secundário das necessidades de terras em outros lugares. Todas as premissas foram revisadas por especialistas locais. Entretanto, como há controvérsias e falta de consenso com relação à metodologia, os resultados não foram aplicados ao caso base. Os impactos avaliados dentro de um cenário específico pode ser observado no relatório completo do estudo de ACV.

---

<sup>2</sup> E4tech (2010) "A Causal Descriptive Approach to Modelling the GHG Emissions Associated with the Indirect Land Use Impacts of Biofuels" Autores: Bauen, A., Chudziak, C., Vad, K., e Watson, P., Relatório Final, Estudo realizado para o Departamento de Transportes do Reino Unido. Disponível em: [http://www.apere.org/doc/1010\\_e4tech.pdf](http://www.apere.org/doc/1010_e4tech.pdf)

### **Dados – Mudanças Diretas do Uso da Terra (dLUC)**

De maneira análoga ao estudo de ACV, as mesmas três usinas nos forneceram dados relacionados às condições do solo e mistura de tipos de terras convertidas durante a expansão nas safras 2010/11 e 2011/12 (para o caso “atual”). Providenciaram dados sobre qual mistura de tipo de solo eles esperam continuar a converter no futuro (2012-2020, caso “futuro”), bem como a parcela de cana queimada e não queimada para ambos os períodos. Um conjunto de dados para a região de São Paulo/Centro-Sul foi também utilizado com base em dados já publicados e apoio de especialistas locais, visando determinar os impactos da mudança do uso do solo de forma mais ampla e não específica. A análise foi complementada por outros dados publicados, a fim de caracterizar o carbono orgânico do solo e os estoques de carbono superficial e subterrâneo, antes e depois da conversão para cana-de-açúcar.

As usinas também nos forneceram os números relativos ao seu fornecimento (ou fornecimento estimado, no “caso futuro”) de etanol para a Braskem nos períodos analisados. Esses números foram utilizados no cálculo da média ponderada de mudança do uso da terra no consumo de etanol da Braskem.

### **Dados – Mudanças Indiretas do Uso da Terra (iLUC)**

Uma vez que não é possível determinar exatamente onde ocorrem iLUC e quais usos ou coberturas da terra são deslocados, foi considerado na análise um conjunto de dados regionais publicados pela Winrock International (2011)<sup>3</sup>, contendo estimativas de proporções históricas de diferentes mudanças de cobertura do solo e estoques de carbono correspondentes.

### **Resultados – dLUC (“caso atual”)**

Conforme apresentado na Figura 1, a média ponderada em toda a produção atual de PE Verde da Braskem equivale a emissões relativas de -1,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg PE, em uma faixa de +0.7 a -2.4 kg CO<sub>2</sub>e/kg PE.

---

<sup>3</sup> Winrock International (2011) “Land Use Change GHG Emissions Factors”, pdf e excel disponíveis em: <http://www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-OAR-2011-0542-0105>

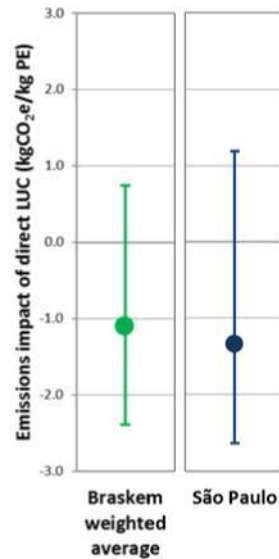


Figura 1: resultados das MUT diretas

Observamos que essa “média” de emissões de CO<sub>2</sub> dLUC é negativa, ou seja, a mudança para cana-de-açúcar aumentou o estoque de carbono no solo e/ou a vegetação superficial e subterrânea. As barras de erros na Figura 1 indicam faixas de incerteza resultantes dos conjuntos de dados, necessitando de mensuração real em muitos casos, além do uso de dados de literatura. As barras de erros se estendem na direção positiva, ou seja, não é garantido que a produção atual de PE Verde da Braskem esteja causando mudanças negativas líquidas dos estoques de carbono do solo.

### Resultados – iLUC (“caso atual”)

Os resultados da análise de mudanças indiretas do uso do solo, apresentaram um resultado de +1,3 kgCO<sub>2</sub>e/kg PE, porém não foram utilizadas nos cenários de ACV tendo em vista as incertezas metodológicas.

### Resultados – “caso futuro”

As emissões relacionadas às mudanças diretas e indiretas do uso da terra apresentam ligeira melhora no caso futuro. Isso se deve, principalmente, à eliminação gradual da prática de queima da cana-de-açúcar no processo manual de colheita no caso das dLUC, e à intensificação e aumento da produtividade no caso das iLUC.

## Conclusões e limitações do estudo

Há disponibilidade terra suficiente para atender às demandas da Braskem. Atualmente, a plantação de cana-de-açúcar no Brasil ocupa 9,75 milhões de hectares. A política de Zoneamento Agroecológico Brasileira identifica grandes áreas do território do país como apropriadas à expansão da produção de cana-de-açúcar, sem restrições ambientais. Espera-se que outros 5-6 milhões de hectares de terras adicionais sejam necessários para a indústria da cana-de-açúcar como um todo até 2020, com base na projeção de demanda realizada pela Embrapa. A área projetada para atender à produção hipotética da Braskem em 2020 corresponde a apenas uma parcela muito pequena dessa área.

A natureza incerta dos dados deve ser levada em consideração sempre que os resultados dos impactos das mudanças diretas e indiretas do uso da terra forem usados como base para conclusões. Um levantamento mais extenso e detalhado de dados reduziria as incertezas, assim como uma melhor compilação de dados nas plantações de cana-de-açúcar poderia contribuir para um modelo mais preciso dos impactos da mudança do uso do solo no futuro.

A principal mensagem transmitida pelos dados disponíveis sobre dLUC é garantir que os tipos de solo em que haja expansão sejam os que possivelmente resultariam nos maiores ganhos de Carbono Orgânico do Solo, e que haja cobertura vegetal mínima na superfície. Uma vez que as terras sobre as quais uma grande parte da expansão de cana-de-açúcar deve ocorrer correspondem, geralmente, a áreas de pasto degradadas, as dLUC também seriam relativamente pequenas.

É importante ressaltar que, apesar de os resultados das dLUC terem levado a valores negativos (com incertezas chegando a valores positivos), espera-se que os resultados das iLUC sejam quase sempre positivos (devido à conversão de vegetação nativa de maior estoque de carbono), apesar da natureza amplamente incerta dos dados.



## Pegada hídrica (no inglês, water footprint – WFP)

Foi realizado um estudo específico para determinar o impacto referente ao uso de água considerando a demanda da Braskem por etanol de cana-de-açúcar para produção de PE verde. Foram utilizados os mesmos dados do estudo de ACV com as mesmas fronteiras e referência temporal.

### Metodologia

A análise segue a metodologia da “Water Footprint Network” que classifica 3 tipos de uso de água direta e indireta: a “água verde”- água consumida pela própria cana-de-açúcar, “água azul” - água disponível em aquíferos e lençóis para uso nos processos,<sup>4</sup> e “água cinza” que é uma estimativa da quantidade de água que seria necessária para diluir quaisquer poluentes a níveis legalmente aceitáveis.

A Figura 2 ilustra o cálculo da pegada hídrica para cada estágio de produção do PE verde. As palavras “direta” e “indireta” destacadas em branco indicam em qual estágio de produção ocorre a pegada hídrica (verde, azul ou cinza). Por exemplo, apenas o estágio de plantação e usinagem (ex. produção de etanol) possui pegada hídrica verde direta gerada pela absorção de água da chuva pela cana-de-açúcar, ao passo que a pegada hídrica verde indireta que ocorre no estágio de plantação e usinagem, bem como no de transporte, resulta de uma quantidade muito pequena de biodiesel utilizado nas máquinas e caminhões. Somados, esses componentes formam a pegada hídrica verde total do PE verde da Braskem.

A figura mostra, ainda, a alocação para diversos coprodutos, realizada em base econômica.

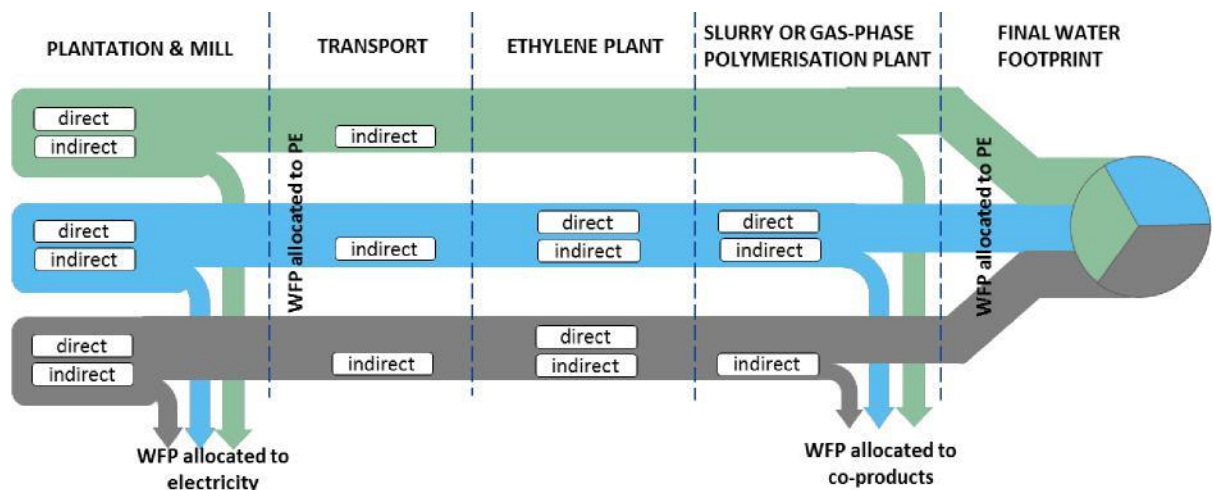


Figura 2: Ilustração do cálculo da PH total

<sup>4</sup> É importante ressaltar que a pegada hídrica “azul” é definida como a “retirada” (seja através de sua incorporação em um produto e seu transporte ou de evaporação) da bacia hidrográfica em que ocorre um processo em particular.

Os resultados finais são divididos entre a Bacia do Rio Paraná, onde estão localizadas as plantações e usinas de etanol, e a Bacia do Atlântico Sul, onde estão localizadas as instalações de eteno e polietileno da Braskem.

Além dessa análise quantitativa, o estudo também reúne evidências das condições das bacias hidrográficas mencionadas: coletam-se dados que tratam da disponibilidade de água, bem como da sua qualidade, através de dados publicados por órgãos governamentais e internacionais. Com base nessas informações, chegamos à compreensão inicial da sustentabilidade dos impactos hídricos da demanda da Braskem por etanol de cana-de-açúcar.

## Resultados

A Figura 3 apresenta a pegada hídrica (dividida entre os seus componentes verde, azul e cinza) da produção do PE verde da Braskem nas respectivas bacias hidrográficas onde estão localizadas as atividades.

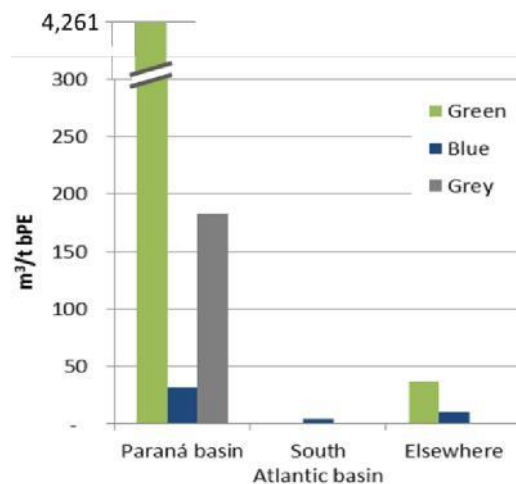


Figura 3: Pegada hídrica da produção do PE de fonte renovável da Braskem nas bacias hidrográficas onde ocorre a produção

Fica imediatamente evidente que a pegada hídrica verde é muito superior às pegadas azul e cinza. Esse resultado é esperado para produtos de fonte renovável uma vez que as plantas absorvem água através dos processos de evapotranspiração durante seu crescimento. Não há componentes verde e cinza na Bacia do Atlântico Sul, visto que o processamento que ocorre nessa bacia hidrográfica não envolve produção de cana-de-açúcar, e o fato de que as plantas químicas da Braskem descartam apenas efluentes líquidos já tratados.

Esses resultados foram comparados a outros estudos de pegada hídrica de etanol de cana-de-açúcar, e demonstraram resultados inferiores. Sensibilidades foram observadas para a pegada hídrica verde devido as variações de dados de evapotranspiração aplicadas em diferentes estudos.

Para a análise da sustentabilidade, tanto a disponibilidade quanto a qualidade da água em ambas as bacias hidrográficas foram analisadas:

De acordo com os dados disponíveis para a Bacia do Rio Paraná, mesmo durante os meses de estiagem a escassez de água é considerada baixa, sendo a oferta de água sustentável ao longo do ano. Além disso, apesar da cana-de-açúcar ter uma pegada hídrica verde alta, ela cresce no período de chuvas, não tendo portanto, necessidade de ser irrigada artificialmente nesta região, o que torna improvável o impacto negativo quando se refere a disponibilidade de água na região.

Da mesma forma, medições da qualidade da água demonstram uma situação saudável de maneira geral. Em geral, não há na Bacia do Rio Paraná uma preocupação imediata com a sustentabilidade hídrica nesse momento. No entanto, é importante monitorar o impacto das atividades agrícolas constantemente.

Já na Bacia do Atlântico Sul, os dados mostram que a área é particularmente crítica, tanto em termos de disponibilidade quanto de qualidade da água. A partir dos dados coletados para este estudo, fica claro que os processos da Braskem apresentam eficiência hídrica, porém é essencial que os processos sejam revistos e aprimorados constantemente, e que haja um trabalho constante de conscientização e manutenção sobre questões relacionadas à água com todos os funcionários.

## Conclusões e limitações do estudo

- 1. Pegada hídrica verde:** é difícil determinar os valores exatos de evapotranspiração, uma vez que o parâmetro depende do índice pluviométrico, insolação e outras características geográficas. Medições realizadas na mesma plantação em diversos anos podem gerar resultados diferentes de evapotranspiração. Além disso, são necessários pegadas hídricas verdes comparáveis para que se possa determinar a “pegada hídrica verde líquida” ao converter terras utilizadas para outros fins em plantações de cana.
- 2. Pegada hídrica cinza:** a estimativa da pegada hídrica cinza é subjetiva devido a ausência de um método claramente estabelecido de quantificação dos volumes de diluição para assimilação de poluentes. Os autores sugerem que questões como a eutrofização e a toxicidade ecológica sejam avaliados de forma mais eficaz pelo estudo de ACV.
- 3. Lixiviação de nutrientes das lavouras:** é difícil a mensuração da lixiviação de nutrientes, tais como nitrogênio e fósforo, produzindo uma série de valores distintos quando realizada. A fim de tornar a pegada hídrica cinza mais específica à situação real das usinas, seria necessário conduzir medições nas plantações das usinas e analisar dados relacionados que possam estar disponíveis em estudos externos (ex. publicações e relatórios científicos).
- 4. Lixiviação de pesticidas e herbicidas e impactos na água:** de maneira similar à lixiviação de nutrientes, o comportamento de pesticidas e herbicidas precisa ser

investigado, e seu impacto na água deve ser determinado. É importante ter em mente que, atualmente, a pegada hídrica cinza do PE de fonte renovável da Braskem não leva em consideração os impactos de pesticidas/herbicidas, dada a ausência de dados disponíveis.

5. **Monitoramento de precipitação:** apesar de não haver escassez de água azul na Bacia do Rio Paraná atualmente, e de toda a cana se desenvolver em plantações irrigadas naturalmente pela chuva, uma grande parte da sustentabilidade futura depende da pluviosidade da região. É importante compreender as possíveis mudanças futuras no regime pluviométrico para avaliar a sustentabilidade das plantações atuais para uso futuro, bem como identificar áreas de expansão futura a partir da perspectiva da disponibilidade de água verde.
6. **Escassez e qualidade da água na Bacia do Atlântico Sul:** assim que estiverem disponíveis dados mais detalhados sobre a situação hídrica da Bacia do Atlântico Sul (e do Rio Paraná), uma nova análise da sustentabilidade da pegada hídrica do PE verde deverá ser realizada, considerando os novos dados.
7. **Irrigação da cana-de-açúcar no Brasil:** atualmente, a maior parte das plantações de cana-de-açúcar no Brasil não são irrigadas. No entanto, é possível que a irrigação se torne necessária, caso haja expansão das plantações de cana para regiões de solo mais seco, sendo recomendada a realização de novos estudos sobre a probabilidade e o cronograma dessa possibilidade.

## Conclusão

Através destes estudos, a Braskem dá um passo importante para a compreensão dos potenciais impactos ambientais associados ao PE de fonte renovável, identificando uma série de fatores que poderão ser melhorados através de trabalhos futuros, monitoramento contínuo e priorização de melhorias futuras.

Com relação aos principais resultados, o PE verde foi identificado como tendo bom desempenho nas categorias de impacto GWP<sub>100</sub> e Potencial de Depleção Abiótica. Análises comparativas do ciclo de vida completo de produtos de PE serão o próximo passo para indicar como os benefícios *de berço a porta* podem contribuir quando as fases adequadas de uso e fim da vida são incluídas na avaliação. Outras categorias de impacto mostram resultados mais heterogêneos, com o PE petroquímico apresentando vantagens em relação ao PE verde em algumas delas. Para chegar a uma conclusão sobre a importância relativa de cada categoria de impacto, é necessário compreender sua materialidade ou ponderação (basicamente, um julgamento de valor) em qualquer processo de integração, a fim de produzir um indicador geral do impacto absoluto no meio ambiente. Tais modelos de “análise integrada” são tema de contínuos debates e discussões, e neste momento acreditamos que a forma de obter o máximo de clareza e compreensão é através da avaliação dos impactos do PE verde considerando cada categoria em questão de forma individual.

A análise de melhoria da ACV permitiu uma compreensão das possibilidades de melhorias contínuas, que podem ser integradas aos sistemas de gestão ambiental da Braskem e acompanhadas no futuro.

Fica claro, ainda, que os valores absolutos dos resultados variam de acordo com a escolha da metodologia de ACV. Consideramos, no entanto, que a abordagem utilizada, baseada na substituição, é adequada aos objetivos do estudo, transparente e qualificada, além de ser representativa dos impactos sistêmicos da produção do PE de fonte renovável da Braskem.

Em termos de mudanças do uso da terra, os impactos são relativamente baixos, possivelmente com dLUC positivas e iLUC negativas. O apoio ao planejamento do uso da terra no território nacional e à identificação de fornecedores em expansão para terras degradadas será importante no futuro, a fim de minimizar os impactos das mudanças diretas do uso da terra.

O estudo de pegada hídrica demonstrou não haver impactos hídricos imediatos relevantes, mas a situação hídrica local exige monitoramento contínuo, visando identificar e prevenir o surgimento de novos pontos críticos (*hotspots*).

Os resultados destes estudos passarão a compor, a partir de agora, a base para futuros avanços técnicos dentro da Braskem, além de servirem como base informacional para discussões e colaboração com os públicos de interesse.