



# PLANO DE VOO PARA BIOCOMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO NO BRASIL: PLANO DE AÇÃO





# PLANO DE VOO PARA BIOCOMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO NO BRASIL: PLANO DE AÇÃO

uma iniciativa de  
Boeing/Embraer/ FAPESP e UNICAMP

**JUNHO DE 2013**





## Patrocinadores



## Stakeholders





## Prefácio

A indústria da aviação está comprometida com a redução de seu impacto ambiental e estabeleceu metas ambiciosas para atingir um crescimento neutro em carbono até 2020 e reduzir em 50% as emissões de dióxido de carbono (dos níveis de 2005) até 2050. Atualmente, a indústria de aviação gera aproximadamente 2% das emissões de dióxido de carbono causadas pelo homem; é uma parte pequena, mas crescente, e as projeções sugerem que atingirão um nível de 3% até 2030.

A Boeing e a Embraer, na condição de companhias líderes do setor de aviação comprometidas com um futuro mais sustentável, uniram esforços para apoiar iniciativas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) decorrentes do transporte aéreo. Essas emissões representam uma preocupação global importante no século 21, e a indústria da aviação, em fase de expansão, precisará encontrar maneiras de reduzir sua contribuição, particularmente por meio da substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis sustentáveis.

As companhias aéreas também estão fazendo sua parte. Criaram, em escala global, o Sustainable Aviation Fuel Users Group (SAFUG), uma organização que tem como objetivo acelerar o desenvolvimento e a comercialização de biocombustíveis sustentáveis para a aviação.

O Brasil é internacionalmente reconhecido por sua longa experiência no uso da biomassa para fins energéticos, a começar por madeira, etanol de cana-de-açúcar e biodiesel. A bioenergia moderna representa cerca de 30% da matriz energética do Brasil, país que tem um longo histórico de conciliar produção de biocombustível, segurança alimentar e desenvolvimento rural. Boa parte do que o Brasil fez na área de bioenergia foi por meio de políticas de longo prazo e investimento em pesquisa associada à formação e qualificação de recursos humanos.

Nesse contexto, Boeing, Embraer e FAPESP iniciaram este projeto com o objetivo de realizar uma avaliação nacional dos desafios e oportunidades tecnológicas, econômicas e de sustentabilidade, associadas ao desenvolvimento e à comercialização de biocombustíveis sustentáveis para a aviação no Brasil. A UNICAMP, escolhida para coordenar esse estudo, ficou com a responsabilidade de chefiar uma equipe de pesquisa altamente qualificada e multidisciplinar. A equipe do projeto realizou oito workshops com a participação ativa de mais de 30 *stakeholders* do setor privado, de instituições governamentais, de ONGs e da academia. A avaliação incluiu os tópicos mais importantes de agricultura, tecnologia de conversão, logística, sustentabilidade, comercialização e políticas. O resultado desse esforço é este *Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil: Plano de Ação* originado do diálogo franco e de visões diversas dos *stakeholders*. O relatório oferece as bases para o estabelecimento de uma nova indústria de biocombustíveis para substituir os combustíveis de aviação. Ao longo desse processo, confirmamos que o Brasil é um lugar altamente promissor para ajudar o mundo a reduzir a dependência da aviação de combustíveis fósseis.

O desenvolvimento de uma nova indústria atrairá a participação de diferentes setores da economia brasileira, incluindo não só instituições de pesquisa e produtores de biocombustíveis, mas também produtores de matérias-primas, instituições financeiras, grupos de relações internacionais, a academia, a indústria da aviação e grupos de defesa de causas sociais e ambientais. No desenvolvimento de biocombustíveis sustentáveis para a aviação, o Brasil é um protagonista relevante, com uma vantagem estratégica global única.

*Donna Hrinak*  
PRESIDENTE DA BOEING BRASIL

*Mauro Kern*  
VICE-PRESIDENTE EXECUTIVO DE ENGENHARIA  
E TECNOLOGIA DA EMBRAER

*Celso Lafer*  
PRESIDENTE DA FAPESP



## Governança e equipe do *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil*

A coordenação do *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil* foi exercida por um Comitê Diretor e um Comitê Executivo composto por:

### COMITÊ DIRETOR

Hernán Chaimovich (FAPESP)  
William Lyons (Boeing)  
Alexandre Filogonio (Embraer)

### COMITÊ EXECUTIVO

Carlos Henrique de Brito Cruz (FAPESP)  
William Lyons (Boeing)  
Fernando Ranieri (Embraer)

O *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil* usou uma equipe Facilitadora para implementar os estudos e foi composta pela equipe de pesquisa de diferentes instituições e a equipe de apoio da UNICAMP.

### EQUIPE DE PESQUISA

Luís Augusto Barbosa Cortez, FEAGRI & NIPE/UNICAMP (coordenador do projeto)  
Francisco Emílio Baccaro Nigro, EPUSP/ Combustíveis e Motores e Logística (coordenador do projeto)  
André M. Nassar, ICONE/ Uso da Terra e Sustentabilidade, LCA  
Heitor Cantarella, IAC/APTA/Sustentabilidade da Agricultura  
Luiz Augusto Horta Nogueira, UNIFEI/ Legislação e Políticas de Biocombustíveis  
Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes, ESALQ/USP/Aspectos Sociais e Sustentabilidade  
Rodrigo Lima Verde Leal, NIPE/UNICAMP/Especialista em Roadmapping  
Telma Teixeira Franco, FEQ/UNICAMP/ Tecnologias de Refino  
Ulf Schuchardt, IQ/UNICAMP/Tecnologias de Refino

### CONSULTORES

Alexandre Filogonio (Embraer)  
Nirvana Deck (Boeing)  
Marcelo Gonçalves (Embraer)  
Michael Lakeman (Boeing)  
Darrin Morgan (Boeing)  
Luiz Nerosky (Embraer)  
Fábio Santos da Silva (Embraer)

### PESQUISADORES ADICIONAIS

Julio César Perin de Melo (IQ/UNICAMP), Post-doc  
Paula Moura (ICONE), estudante de Mestrado  
Ricardo Baldassin Junior (FEAGRI/UNICAMP), estudante de Doutorado

### EQUIPE ADMINISTRATIVA

Fabiana Gama Viana (NIPE/UNICAMP), Gerente de Workshops  
Lilian Andrade (NIPE/UNICAMP), Gerente de Administração de Projeto  
Fernanda Colucci (NIPE/UNICAMP), Apoio

## Termo de Responsabilidade

Quaisquer opiniões, revelações e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não refletem necessariamente as visões dos *stakeholders*. Os resultados, análises, conclusões ou recomendações expressas neste relatório são baseados numa série de workshops que contaram com a participação de vários *stakeholders*, apresentações técnicas, coleta de dados, determinação de referências ou pressupostos e parâmetros especificados. Dentro dos limites da lei, as partes participantes se excluem de toda responsabilidade de qualquer natureza por qualquer perda, despesa, dano ou custo incorrido direta ou indiretamente pelo uso deste relatório.

## Agradecimentos

O *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil* agradece a cooperação das instituições Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, Faculdade de Engenharia Química – FEQ/UNICAMP, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais – FIEMG, Embrapa Agroenergia, Agência Nacional do Petróleo – ANP, Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial – DCTA, e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, que ofereceram suas instalações para abrigar os oito workshops organizados durante o período de realização do projeto, e as instituições que ajudaram a promover os workshops: ESALQ-LOG, FAPEMIG, e ITA. Agradecemos também a contribuição dos palestrantes nos workshops que foram fundamentais para o sucesso de nosso projeto. Abaixo estão as instituições que contribuíram para este relatório.

Abengoa Bioenergy; Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA); Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA); Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove); Associação Brasileira de Empresas Aéreas (ABEAR); Associação das Indústrias Sucroenergéticas de Minas Gerais (SIAMIG); Azul Linhas Aéreas Brasileiras; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES); Biograal Investment; Bloomberg New Energy Finance; Bonsucro; Casa Civil da Presidência da República; Ceres Sementes do Brasil; Chemtex; Embrapa Agrobiologia; Embrapa Soja; Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ)/Universidade de São Paulo (USP); Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG); Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG); Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindústria (ESALQ-LOG) da ESALQ/USP; Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA); Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR); Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ); Instituto Algodão Social; Instituto Brasil Ambiente; Instituto de Logística e Supply Chain (ILOS); Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT); International Air Transport Association (IATA); Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI); Ministério das Relações Exteriores (MRE); Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC); Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA); New Mexico State University; Nidera Sementes; Secretaria de Aviação Civil da Presidência da República (SAC); Sky Energy (SKYNRG); Stellenbosch University; Transpetro; Terrabon; União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene (UBRABIO); União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA); United States Department of Agriculture (USDA); Universidade de Brasília (UnB); University of Minnesota; US Consulate of Sao Paulo; World Paulownia Institute.



# Sumário Executivo

## MAPEANDO BIOCOMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO PARA O BRASIL

A indústria da aviação estabeleceu metas ambiciosas para reduzir as emissões de dióxido de carbono e crescer numa base sustentável. Apesar dos avanços possíveis na eficiência de uso de combustíveis, para alcançar as metas de redução de emissões da indústria serão precisos biocombustíveis produzidos de maneira sustentável que atendam às necessidades técnicas da aviação. Nos próximos 20 a 40 anos, a indústria fará uma transição para o uso de biocombustíveis sustentáveis em substituição aos combustíveis de aviação baseados em petróleo. O uso de biocombustíveis na aviação deverá ser eficaz, eficiente e vantajoso dos pontos de vista ambiental, social e econômico.

Com esses objetivos em mente, Boeing, Embraer e FAPESP acordaram formalmente, em outubro de 2011, em investigar como o Brasil contribuirá para esse esforço. O resultado está descrito neste *Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil: Plano de Ação*, uma avaliação nacional dos desafios e oportunidades tecnológicas, econômicas e de sustentabilidade, associadas ao desenvolvimento e à comercialização de biocombustíveis sustentáveis para a aviação no Brasil. A UNICAMP foi escolhida para a coordenação desse estudo, com a responsabilidade de chefiar uma equipe de pesquisa altamente qualificada e multidisciplinar. O processo confirmou que o Brasil tem um grande potencial para fornecer biocombustíveis de aviação para os mercados doméstico e internacional.

A equipe do projeto realizou oito workshops em todo o Brasil, incluindo São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília e Minas Gerais, com a participação ativa de mais de 30 *stakeholders*, abrangendo toda a cadeia de suprimento prospectiva de biocombustíveis para a aviação, incluindo a indústria, a agricultura, o governo, ONGs e a academia. A avaliação englobou a produção e fornecimento de matérias-primas, tecnologia de conversão, logística de fornecimento de combustível, sustentabilidade e políticas. Foram realizados, também, três workshops em âmbito regional, facilitados pela EPFL e 4CDM. O resultado desse esforço está sintetizado neste *Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil: Plano de Ação*.

Este *Roadmap* apresenta os *pathways* para estabelecer uma nova indústria de biocombustíveis em substituição aos combustíveis de aviação à base de petróleo. Inclui recomendações para:

- preencher lacunas de pesquisa e desenvolvimento na produção de matérias-primas sustentáveis;
- incentivar a superação de barreiras nas tecnologias de conversão, incluindo questões de aumento de escala;
- promover maior envolvimento e interação entre as partes interessadas privadas e as governamentais;
- criar uma estratégia nacional para fazer do Brasil um país líder no desenvolvimento de biocombustíveis de aviação.

## NECESSIDADES E PAPEL VITAL DA AVIAÇÃO

A indústria da aviação requer “combustíveis drop-in”, isto é, biocombustíveis sustentáveis, com características de desempenho equivalente aos combustíveis fósseis atualmente utilizados nos motores das aeronaves. Apesar de ainda não ter custo competitivo, a viabilidade técnica do biocombustível “drop-in” para aviação foi demonstrada em alguns voos testes e comerciais de companhias aéreas. Esforços de redução de custos a níveis competitivos estão em curso em muitas partes do mundo. Os desafios incluem o escalamento combinado da produção de matérias-primas e as rotas tecnológicas de refino, além de melhorar a logística e o desenvolvimento de aplicações.

A aviação é absolutamente essencial. Segundo a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA), o setor contribui com cerca de US\$ 3,8 trilhões por ano para a economia global, sustentando o emprego de 32 milhões de pessoas. No Brasil, o transporte aéreo está crescendo mais rapidamente que a média global. Projeções indicam que o Brasil se tornará o 4º maior mercado de tráfego aéreo doméstico do mundo até 2014. Em 2010, o setor brasileiro de aviação transportou cerca de 71 milhões de passageiros e 870 mil toneladas de carga aérea dentro e fora do país. Em 2009, a aviação brasileira contribuiu com R\$ 32 bilhões para o PIB nacional e empregou cerca de 684 mil pessoas. A demanda brasileira por combustível para aviação em 2011 foi de 7 milhões de metros cúbicos, cerca de 2,8% da demanda global, sendo que 75% do combustível consumido foi produzido por refinarias brasileiras e o restante importado.

## ASSEGURAR A SUSTENTABILIDADE

Nem toda bioenergia é energia sustentável. Os combustíveis precisam ser desenvolvidos de acordo com fortes critérios de sustentabilidade para atender às necessidades do setor de aviação. A avaliação de sustentabilidade da produção de matérias-primas no Brasil, realizada no âmbito do *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil*, seguiu os princípios e critérios internacionais de sustentabilidade para a produção de biocombustíveis propostos por organizações como a Bonsucro e a Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB). É importante discutir essas questões, já que a certificação de sustentabilidade se tornará, cada vez mais, um requisito de acesso aos mercados, e porque os padrões e processos de certificação são complexos e requerem adaptações na cadeia de suprimentos. É igualmente crucial assegurar que os requisitos de sustentabilidade sejam observados na prática, mediante certificação e fiscalização, e pela garantia de cumprimento das leis aplicáveis.

## IDENTIFICAR MATÉRIAS-PRIMAS PROMISSORAS

As matérias-primas potencialmente mais promissoras para a produção de biocombustível para aviação são as plantas que contêm açúcares, amido e óleo, além de resíduos como lignocelulose, resíduo sólido urbano e gases de exaustão industrial. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, o segundo maior produtor de soja e registra o mais baixo custo de produção de eucalipto. Essa posição assegura competitividade na produção das três culturas consideradas candidatas naturais a matérias-primas para o início de uma indústria de biocombustível para

aviação no Brasil, dependendo do processo de conversão escolhido. Ademais, a cana-de-açúcar e o eucalipto podem ser produzidos com uma redução muito significativa do ciclo de vida das emissões de CO<sub>2</sub>. Mesmo para as culturas já estabelecidas, há espaço para redução ainda maior dos custos e melhoria nos parâmetros ambientais. As coníferas também são uma opção florestal promissora.

Várias outras culturas, não tão bem posicionadas quanto a cana-de-açúcar, o eucalipto e a soja, também podem se tornar opções viáveis. Irão requerer, contudo, esforços adicionais em P&D para aumentar o rendimento (pinhão manso, camelina, sorgo sacarino), reduzir custos (pinhão manso, camelina, girassol, amendoim, mamona, dendezeiro, e outras plantas produtoras de óleos) e resolver problemas de colheita (pinhão manso, gramíneas), por exemplo. A maioria das culturas demanda melhorias de logística pois, em geral, a infraestrutura de transporte no Brasil é precária e as matérias-primas são produtos de baixa densidade e valor unitário. Isso se aplica tanto às culturas anuais como aos produtos florestais. Entretanto, a logística pode ser mais desafiadora para o dendezeiro, que cresce bem em zonas tropicais úmidas, longe dos locais de uso final.

O suprimento abundante de resíduos de colheitas como palha, bagaço de cana-de-açúcar e subprodutos florestais (tanto do campo como da indústria) também torna essa classe de matéria-prima uma boa alternativa. Neste caso, o custo da coleta e de transporte, e questões de preservação do solo são lacunas e barreiras importantes que terão de ser superadas.

A criação do programa brasileiro do etanol, em 1975, não só ajudou o Brasil a reduzir sua dependência de combustíveis fósseis como também modernizou a agricultura brasileira. Desde 1975, o Brasil tornou-se um exportador líquido de produtos agrícolas, incluindo grãos, carne e outros produtos. O Brasil é um dos melhores exemplos mundiais de que é possível conciliar uma produção sustentável de biocombustível com a segurança alimentar. O Brasil utiliza somente 7% de sua terra para agricultura. O presente relatório indica que o País tem terra abundante disponível para bioenergia, levando em conta, especialmente, o aumento da produtividade das terras agrícolas existentes.

## DESENVOLVER TECNOLOGIAS DE REFINO

Diversas tecnologias de conversão e refino foram avaliadas, incluindo gaseificação, pirólise rápida, liquefação por solvente, hidrólise enzimática de biomassa celulósica e lignocelulósica, oligomerização de álcool para combustível de aviação (ATJ), hidrocessamento de ésteres e ácidos graxos (HEFA), bem como a fermentação de açúcares e dejetos (isto é, resíduos sólidos urbanos, gases de combustão, resíduos industriais) em álcoois, hidrocarbonetos (DSHC) e lipídios. Todas essas tecnologias têm potencial para ser consideradas na produção de biocombustível para aviação.

No Brasil, várias dessas tecnologias estão sendo testadas para produzir biocombustíveis usados em voos de demonstração como alternativas possíveis de biocombustível sustentável. Além de dificuldades técnicas, também precisam ser enfrentadas questões de viabilidade econômica e demonstrar os benefícios ambientais, como a redução das emissões de GEE. É preciso mais pesquisa, desenvolvimento e distribuição para estabelecer tecnologias comerciais de refino de biocombustíveis e distribuição para a aviação.

## LOGÍSTICA DO COMBUSTÍVEL E MATÉRIAS-PRIMAS

O consumo de combustíveis para aviação se concentra na região sudeste do país, em geral em cidades não distantes do litoral. Por outro lado, há terras agrícolas abundantes e baratas disponíveis no interior do país, longe dos centros de consumo (distâncias maiores do que 1.000 - 2.000 km). Portanto, a melhoria da logística das matérias-primas e dos biocombustíveis para aviação é uma questão fundamental para a competitividade econômica dos vários *pathways* para a produção de biocombustíveis para aviação. Por outro lado, a diversidade de matérias-primas disponíveis nos locais de consumo em diferentes regiões do país pode impulsionar o uso de soluções de nicho, que tirem proveito das longas distâncias e do custo elevado da logística. Isso também pode valer para vários pontos específicos de emissões residuais de processos industriais, oriundos da produção de aço em todo o Brasil, em geral localizados próximos de áreas urbanas e industriais.

## UMA AGENDA POLÍTICA PARA BIOCOMBUSTÍVEIS BRASILEIROS PARA A AVIAÇÃO

Como em outras tecnologias inovadoras, o desenvolvimento de biocombustíveis para a aviação depende fortemente de mecanismos de apoio e de políticas públicas apropriadas. Em muitos países, a adoção do etanol e do biodiesel requereu políticas específicas e ativas para reduzir as incertezas e a percepção de risco de produtores e promover investimentos, bem como para proteger os consumidores e o meio ambiente.

As razões básicas por trás dessas medidas são as vantagens e externalidades diferentes em se utilizar uma energia renovável, em comparação com combustíveis fósseis convencionais, no contexto de uma economia verde. Quando produzido e utilizado de maneira sustentável, o biocombustível pode trazer benefícios ambientais, gerar empregos, estimular a atividade econômica e ampliar a segurança energética. Políticas de biocombustíveis de longo prazo, que integrem os combustíveis para todas as modalidades de transporte motorizado e reconheçam a necessidade particular da aviação de alternativas sustentáveis de combustível, terão de ser estabelecidas para tornar o biocombustível para aviação economicamente viável em razão do custo extra adicional para se produzir um combustível “drop-in” que cumpra as estritas exigências aeronáuticas.

Políticas públicas são fundamentais para desenvolver a tecnologia agroindustrial de biocombustíveis para a aviação, assim como será necessário implementar também medidas regulatórias e financeiras para respaldar a produção e o uso de biocombustíveis para a aviação. O Brasil está excepcionalmente bem posicionado para promover um programa de biocombustíveis para a aviação, com metas claras e mecanismos de apoio e com a participação de todas as partes interessadas.

As políticas também deveriam habilitar a participação de pequenos agricultores e/ou comunidades locais na cadeia de produção de biocombustíveis para aviação para que eles também possam se beneficiar dessa nova indústria.

## Ações recomendadas:

### Produção de matérias-primas

- estimular a pesquisa agronômica, particularmente de matérias-primas não tradicionais;
- estabelecer políticas para criar condições adequadas para um melhor uso da terra;
- melhorar a infraestrutura logística de transporte de matérias-primas;
- avaliar o impacto, no longo prazo, da produção de biomassa sobre os recursos hídricos, solo e biodiversidade;
- avaliar matérias-primas de resíduos industriais disponíveis;
- estabelecer áreas experimentais que gerem dados de longo prazo como uma plataforma para estudos de produção de matérias-primas e seus impactos sobre o solo, a água e a biodiversidade. Estabelecer o monitoramento e a medição conforme padrões reconhecidos;
- estabelecer sistemas mais rigorosos de aplicação da lei para garantir a sustentabilidade na produção de biocombustíveis.

### Tecnologias de Refino

- pesquisar processos para os principais *pathways* identificados;
- implantar plantas-piloto para as alternativas mais promissoras;
- implantar unidades de demonstração e comercialização de projetos originais.

### Logística e Certificação de Biocombustível

- preparar o conjunto de regulamentos brasileiros para incluir biocombustíveis segundo o processo aprovado pela ASTM para querosenes sintéticos;
- desenvolver e disseminar competências para a certificação de biocombustível para a aviação;
- organizar um plano estratégico de longo prazo para a produção e distribuição de biocombustíveis para aviação.

### Políticas

- criar instalações para abrigar atividades científicas e de comercialização relativas aos objetivos deste *roadmap*;
- acompanhar e procurar antecipar medidas regulatórias da ICAO;
- estabelecer ou regulamentar critérios de sustentabilidade para a produção de combustíveis para a aviação no país, em coordenação com padrões emergentes em todo o globo;
- estabelecer um programa governamental de longo prazo para o uso integrado de biocombustíveis em todos os modais de transporte;
- capacitar recursos humanos de alto nível em atividades relacionadas a biocombustíveis para a aviação;
- estabelecer políticas para incluir pequenos agricultores e/ou comunidades locais na cadeia de produção de biocombustíveis para aviação.

Para concluir, a substituição do petróleo na aviação representa um nicho muito importante para biocombustíveis sustentáveis. O Brasil tem a grande oportunidade de se tornar um *ator* global nessa área. Há importantes desafios a serem superados para criar a base dessa nova indústria emergente. O Brasil não pode perder essa oportunidade.



# O Relatório Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil: Plano de Ação

## 1. Introdução

A indústria mundial da aviação demonstrou um forte desejo de participar do esforço global para mitigar as emissões de GEE e, portanto, está profundamente comprometida com a redução das emissões de CO<sub>2</sub>. A meta atual é o Crescimento Neutro em Carbono (CNG, na sigla em inglês) até 2020 e uma redução de 50% nas emissões líquidas de CO<sub>2</sub> sobre níveis de 2005 até 2050. Várias medidas estão sendo tomadas pela indústria de aviação para atingir essa meta. Entre elas estão o uso mais eficiente de combustíveis com turbinas melhoradas, projetos de aviões mais leves, gerenciamento avançado do espaço aéreo e combustíveis menos poluentes.

Este relatório revisa as necessidades de criar uma cadeia de suprimento sustentável para a aviação no Brasil e estabelecer um plano de ação para tornar realidade no País a produção de combustíveis para aviação com baixo teor de carbono fóssil. Apesar de a eficiência no uso de combustíveis ter muito a avançar, para se alcançarem as metas de redução de emissões de CO<sub>2</sub> no setor será necessária a produção de biocombustíveis sustentáveis, que preencham as necessidades técnicas da aviação.

A indústria da aviação busca desenvolver “biocombustíveis drop-in” sustentáveis. O setor vem adotando a referência da ASTM para “drop-in”, significando que combustíveis alternativos, quando misturados com combustível derivado de petróleo em não mais de 50%, cumprem as características mínimas de desempenho do combustível produzido de petróleo utilizado na aviação. Apesar de ainda não ser competitivo do ponto de vista de custo, o biocombustível “drop-in” para aviação foi demonstrado em vários voos de ensaio e comerciais (gerando receita) de companhias aéreas. Estão em curso esforços para baixar os custos a níveis competitivos em muitas partes do mundo. Os desafios mais importantes incluem aumentar a escala de produção combinada de matéria-prima com rotas de refino, e melhorar as características de logística e desenvolvimento de aplicações para que os biocombustíveis se tornem economicamente viáveis.

**“Biocombustíveis drop-in”**  
São biocombustíveis que podem ser misturados com combustível para aviação convencional até a proporção definida por uma especificação de combustível, que podem usar a mesma infraestrutura de abastecimento e que não requerem adaptação de avião ou turbinas.

Nem toda bioenergia é energia sustentável, portanto, os combustíveis devem ser desenvolvidos de acordo com fortes critérios de sustentabilidade e de verificação para atender às necessidades da indústria da aviação. Os produtores de algumas culturas utilizadas como matérias-primas podem se beneficiar de uma experiência agrônômica mais madura, enquanto outras culturas, apesar de apresentar um bom potencial, ainda precisam demonstrar viabilidade de produção em larga escala. Neste momento, nenhuma alternativa pode ser excluída, já que justifica uma cuidadosa seleção das várias opções disponíveis da cadeia de suprimento.

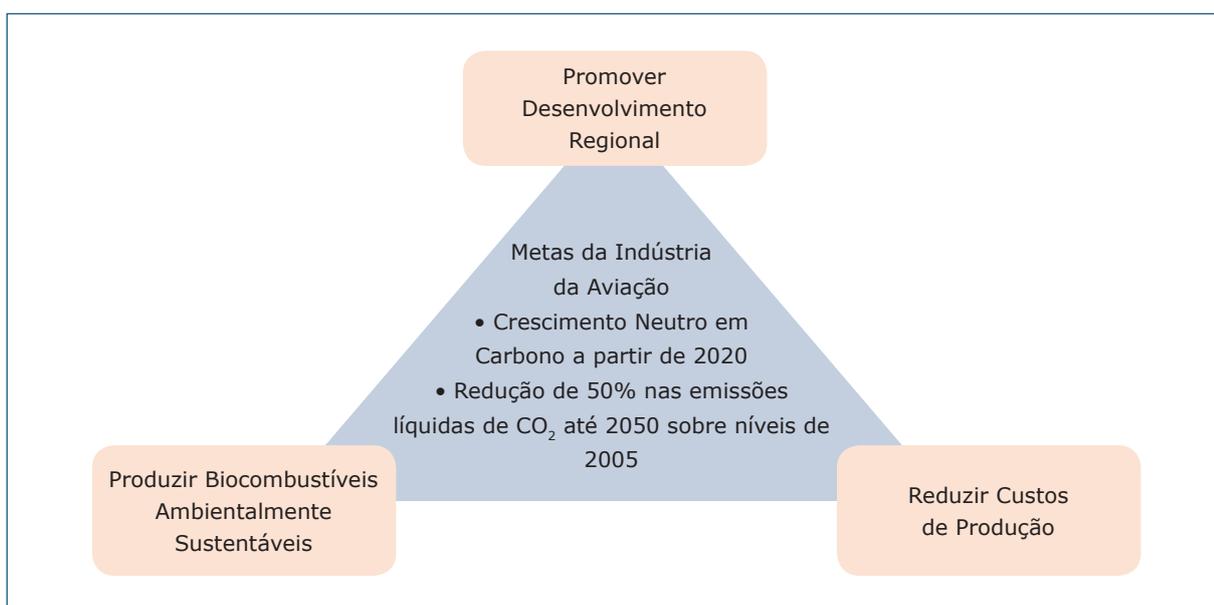
## 2. A visão da Indústria da Aviação e os objetivos do *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil*

Visão da indústria da aviação para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>  
A indústria da aviação terá, nos próximos 20-40 anos, uma transição para o uso de biocombustíveis em substituição aos combustíveis para aviação à base de petróleo. O uso de biocombustíveis em aviação terá de ser efetivo, eficiente e vantajoso dos pontos de vista ambiental, social e econômico para consolidar a expansão mundial da indústria da aviação.

Considerando a visão da indústria de aviação, os principais objetivos do *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil* são:

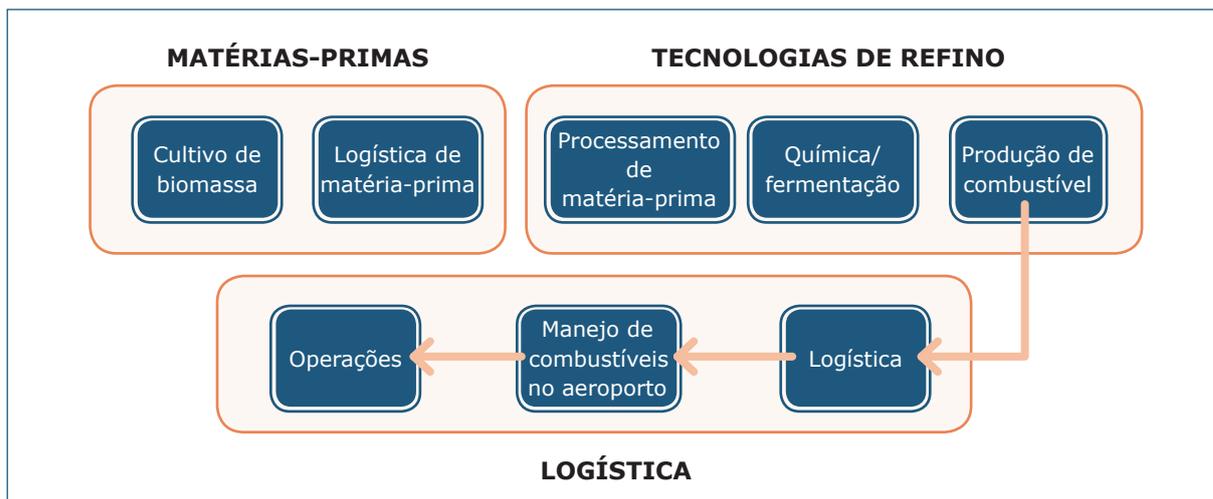
- desenvolver um *roadmap* para identificar as lacunas e barreiras relacionadas à produção, transporte e uso de biocombustíveis para a aviação. Embora algumas companhias já estejam produzindo e vendendo biocombustíveis para a aviação para serem usados em mistura com combustíveis fósseis para aviação, os biocombustíveis para a aviação ainda não se tornaram um componente normal da cadeia de suprimento e ainda não se desenvolveu uma indústria plenamente comercial;
- criar a base para uma agenda de pesquisa e de comercialização de modo a superar as barreiras identificadas, com o objetivo de desenvolver uma cadeia de suprimentos de biocombustíveis de aviação com alto potencial de mitigação dos GEE;
- estabelecer a base para lançar uma indústria nova e inovadora no Brasil de produção de biocombustíveis sustentáveis para a aviação.

A Figura 1 apresenta as metas discutidas e acordadas no processo de definição de *Roadmap*.



**Figura 1:** Objetivos estratégicos para a indústria de aviação para 2050 com relação à substituição do combustível de origem fóssil por biocombustíveis

O *roadmap* tecnológico está dividido em várias frentes de trabalho em toda a cadeia de valor, cada uma com um enfoque específico nas grandes áreas tecnológicas correspondentes, consideradas relevantes para o futuro vislumbrado para a indústria de aviação. A Figura 2 mostra os principais componentes desse trabalho: Matéria-prima, Tecnologias de Refino e Logística. A sustentabilidade é uma questão crucial a ser considerada por toda a cadeia de suprimento.



**Figura 2:** Componentes do *roadmap* para biocombustíveis para a indústria de aviação.

### 3. Patrocinadores e Stakeholders

O *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil* foi financiado principalmente por Boeing, Embraer, FAPESP e UNICAMP. O projeto contou também com a participação dos *stakeholders* abaixo listados:

AIAB, Amyris, ANAC, Andritz, ANP, APTTA, Bioeca, Byogy, Climate Solutions, CTBE, Embrapa Agroenergy, Ergostech, GE, GOL, IAC/APTA/SP, IAE/DCTA, ICONE, ITA/DCTA, LanzaTech, Life Technologies, Mount Rundle, Neste Oil, NWF, Oleoplan, Petrobras, RSB, SG Biofuels, Sindicom, Solazyme, Unifei, UOP, USP, Weyerhaeuser Solutions, WWF, 4 CDM.

### 4. Metodologia e Atividades

A metodologia de *roadmapping* implementada neste projeto visou alcançar um consenso sobre as prioridades (lacunas e barreiras) do plano de ação para promover o uso de biocombustíveis sustentáveis para a aviação. A metodologia foi construída em workshops organizados para estimular as discussões.

Uma série de workshops foi organizada entre maio e dezembro de 2012:

Workshop	Local	Data
1 – Apresentação do Projeto	FAPESP, São Paulo, SP	25-26 Abril, 2012
2 – Matérias-primas	ESALQ/USP, Piracicaba, SP	22-23 Maio, 2012
3 – Tecnologias de refino	FEQ/UNICAMP, Campinas, SP	11-12 Julho, 2012
4 – Sustentabilidade	FIEMG, Belo Horizonte, MG	22-23, Agosto 2012
5 – Política e Incentivos	Embrapa Agroenergia, Brasília, DF	11-13 Setembro 2012
6 – Logística & Suporte	ANP, Rio de Janeiro, RJ	17-18 Outubro 2012
7 – Lacunas de P&D e Comercialização	DCTA, São José dos Campos, SP	28-29 Novembro, 2012
8 – Resumo dos Workshops aos <i>Stakeholders</i>	FAPESP, São Paulo, SP	12 Dezembro, 2012

**Tabela 1:** Workshops

Os workshops forneceram informações valiosas para o desenvolvimento de *pathways*, que foram analisados com base na avaliação de uma provável viabilidade comercial no período 2015-22, embora tenha sido considerada a referência temporal de longo prazo (2050). Foram também realizados três workshops em âmbito regional (Cuiabá, Recife e Curitiba) organizados pela EPFL e a 4CDM. Os workshops reuniram perspectivas e percepções dos *stakeholders*.

## 5. Contexto e motivadores do Projeto

### Perspectiva da aviação civil

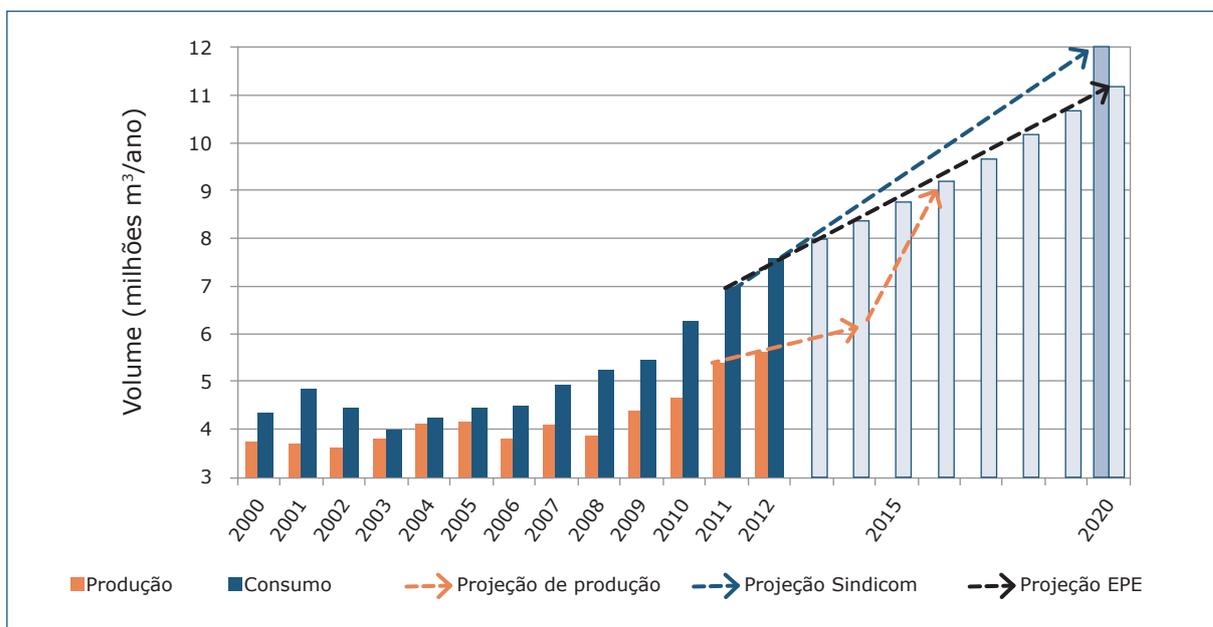
A aviação civil é absolutamente crucial para a economia global. Segundo a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA), o setor de transporte aéreo contribui com cerca de US\$ 3,8 trilhões por ano para a economia global. Emprega 32 milhões de pessoas, transporta 42 milhões de toneladas de bens e conecta 2,8 bilhões de pessoas. Um voo internacional diário de longa distância resulta, anualmente, no movimento de 60 mil passageiros e na geração de 880 empregos, com impacto de US\$ 26 milhões no PIB, US\$ 10 milhões em salários e US\$ 4 milhões em impostos (IATA, 2012).

No Brasil, o transporte aéreo está crescendo rapidamente, acima da média global. Projeções indicam que o Brasil se tornará o 4º maior mercado de tráfego aéreo doméstico do mundo em 2014. Em 2010, o setor de aviação brasileiro transportou mais de 71 milhões de passageiros e 870 mil toneladas de carga aérea para fora e para dentro e no interior do país. Mais de 62 mil voos internacionais programados partem anualmente do Brasil, com destino a 58 aeroportos de 35 países. No mercado doméstico, mais de 1 milhão de voos programados anualmente fornecem conexões entre 108 aeroportos. Em termos econômicos, em 2009 essa atividade contribuiu com

R\$ 32 bilhões para o PIB brasileiro e empregou cerca de 684 mil pessoas. Além disso, estima-se que existam outras 254 mil pessoas empregadas em atividades promovidas pela aviação, como o turismo (Oxford Economics, 2011).

### Energia e aviação

A demanda de energia da indústria de aviação está quase que inteiramente centrada em combustível de aviação baseado em petróleo, uma forma de querosene para ser usada em turbinas a jato com eficiência e segurança. A demanda global de combustível de aviação é de aproximadamente 250 milhões de metros cúbicos por ano, quase 6% da produção das refinarias de petróleo (EIA, 2011). Cerca de dois terços dessa demanda ocorrem em países da OCDE. No Brasil, a demanda por combustível para aviação em 2011 foi de 7 milhões de metros cúbicos (em torno de 2,8% da demanda global) dos quais as refinarias brasileiras produziram 75%, sendo o restante importado de vários países (ANP, 2012).

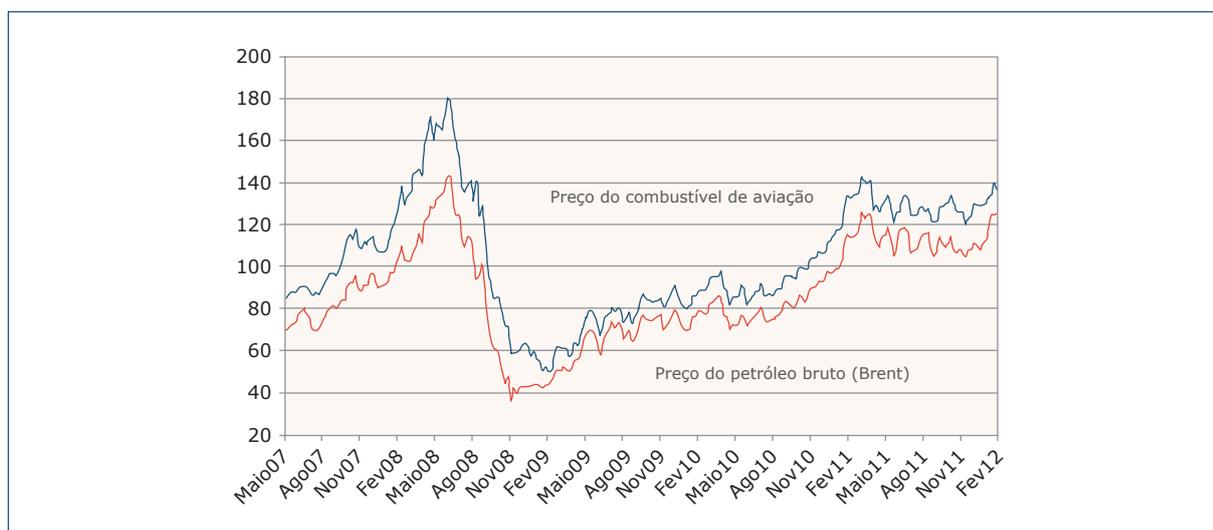


**Figura 3:** Consumo e produção de combustível de aviação no Brasil. Fonte: ANP (2012)

A Figura 3 representa o crescimento projetado do consumo de combustível para aviação no Brasil, junto com a evolução histórica da produção e consumo nos últimos 12 anos. Segundo o Sindicom, o consumo de combustível para aviação deve alcançar 12 milhões de metros cúbicos até 2020, enquanto o número projetado pela EPE (EPE, 2011) é 11 milhões de metros cúbicos para o mesmo ano, com um crescimento anual de cerca de 5%. O volume de produção projetado pela EPE terá um forte crescimento por volta de 2015, quando novas refinarias deveriam entrar em operação, mas, segundo os planos de investimento da Petrobras recentemente divulgados poderá haver adiamentos (PETROBRAS, 2012). O equilíbrio entre oferta e demanda provavelmente só virá muitos anos depois.

O combustível representa o custo operacional mais importante de uma companhia aérea. Como média mundial, o combustível representa atualmente 34% dos custos operacionais (ante 10-

15% na última década), mas no Brasil é ainda maior, representando cerca de 40% do custo operacional das empresas aéreas. Além de sua participação alta, a volatilidade associada à variação dos preços do petróleo é outra preocupação, introduzindo dificuldades consideráveis para o planejamento e administração dessas companhias. A Figura 4 apresenta a evolução do petróleo (referenciado como Brent) e os preços internacionais do combustível para aviação nos últimos anos. A precificação do combustível para aviação é geralmente feita de acordo com três modelos: fórmula baseada no mercado, paridade de importação e preço fixado. Na precificação baseada no mercado, o spread médio em relação ao petróleo bruto é de US\$ 9,6 por barril. O preço do combustível de aviação ao produtor no Brasil, de cerca de US\$ 1,0 a 1,2 por litro em 2011, é definido pela Petrobras e taxado muitas vezes. O preço doméstico do combustível de aviação é 12% mais alto que a média regional e 17% mais alto que a média global (Ebner, 2012a).



**Figure 4:** Preços do petróleo bruto e do combustível de aviação. Fonte: IATA (2012)

### Aviação e emissões de GEE

Além das preocupações com os custos da energia, a consciência do impacto ambiental da utilização de combustíveis fósseis relacionada principalmente às emissões de GEE aumentou significativamente no contexto da indústria da aviação. Apesar de o transporte aéreo ser responsável atualmente por cerca de 2% das emissões de dióxido de carbono de origem humana, esse setor está crescendo com extrema rapidez. Se o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> continuarem aumentando nas velocidades atuais, as emissões de CO<sub>2</sub> da aviação mundial em 2050 serão quase seis vezes a quantidade atual.

Historicamente, ganhos significativos em eficiência de combustível foram alcançados mediante melhorias operacionais (como fatores de carga mais altos, utilização de aviões maiores) e por progressos técnicos (como motores mais eficientes, estruturas de avião mais leves). Em consequência disso, o crescimento do consumo de combustível de aviação pode ser significativamente desacelerado para somente 3% em termos anuais. Mesmo com melhora de eficiência, as emissões de CO<sub>2</sub> da aviação devem mais que triplicar até 2050 (EC, 2011).

Para enfrentar as ameaças de mudança climática e das emissões do setor de aviação, estão sendo desenvolvidas políticas públicas. A este respeito, a medida mais relevante é o *European Union Emissions Trading Scheme* (EU ETS), lançado em 2005 para ser introduzido progressivamente, implicando em custos adicionais relevantes para o setor (OAG, 2012). Essa aplicação está atualmente suspensa, enquanto se realizam negociações para um arcabouço internacional sobre emissões da aviação via Associação Internacional de Transportes Aéreos.

No caso brasileiro, onde se prevê um crescimento médio do consumo de querosene de aviação a taxas anuais de 5%, tal como se descreve na Figura 3, e com o transporte rodoviário usando cada vez mais combustíveis renováveis, a parte da aviação nas emissões de CO<sub>2</sub> do setor de transporte pode alcançar 12% até 2020 (Nigro, 2012). Um dos principais alvos do *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil*, tornar o crescimento da aviação neutra em carbono até 2020, está alinhado com as metas do setor de aviação. Para isso ser alcançado diretamente no setor, sem esquemas de compensação de CO<sub>2</sub>, via compra “aberta” de créditos, e sem reduzir o crescimento do setor, seria necessário adicionar cerca de 0,6 milhão de metro cúbico de combustível para aviação renovável por ano após 2020.

#### A experiência brasileira em biocombustíveis líquidos

No Brasil, cerca da metade da energia primária total vem de fontes renováveis, principalmente de hidrelétricas, da cana-de-açúcar e de madeira. A importância da bioenergia da cana-de-açúcar é alta: em 2011 ela respondeu por 15,7% do suprimento nacional de energia (42,8 Mtep), pouco acima da contribuição da energia hidrelétrica (EPE, 2012). No setor de transporte rodoviário, os biocombustíveis foram responsáveis por aproximadamente 19% do consumo total de energia em 2011.

A extensa experiência brasileira com biocombustíveis automotivo começou em 1931, com a mistura obrigatória de etanol (5%) na gasolina comercializada em postos de gasolina. Em 1975, o programa brasileiro do etanol induziu uma grande expansão da produção com a melhoria progressiva da produtividade agroindustrial, o uso de misturas de etanol à gasolina (25%) e a introdução de carros a etanol puro. Após 1985, com o declínio dos preços do petróleo, o estímulo para o etanol diminuiu. A produção estagnou até a introdução de carros flex em 2003. Esses carros representam hoje aproximadamente 93% das vendas de carros novos. O etanol puro pode ser usado por 12,7 milhões de veículos brasileiros (a maioria carros com motores flex), aproximadamente 47% da frota nacional de veículos leves (ANFAVEA, 2012). Na temporada da safra de 2010/2011, 9,2 milhões de hectares de canaviais (aproximadamente 1% do território nacional brasileiro) produziram 620 milhões de toneladas de matéria-prima para açúcar, etanol e eletricidade. Cerca de 50% do conteúdo de açúcar foram usados para produzir 22,6 milhões de metros cúbicos de etanol em 2011 (UNICA, 2012). Durante as últimas décadas, a produtividade teve uma taxa de crescimento anual média acumulativa de

**Brasil, o “país da biomassa”**  
Usando apenas 0,5% de seu território para produzir bioetanol de cana-de-açúcar, o Brasil está substituindo quase 1/3 da energia do combustível consumido por sua frota de veículos leves.

3,1% na produção de etanol por hectare, um ganho notável de produtividade obtido com a consistente incorporação de novas tecnologias.

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel foi lançado em 2005, com o objetivo de encorajar pequenos produtores e agricultores das regiões menos desenvolvidas a se envolverem com a produção de biodiesel e estabelecer um uso progressivo de misturas obrigatórias de biodiesel em todo óleo diesel comercializado em postos de gasolina. Essa obrigação de mistura começou em janeiro de 2008 com 2% de biodiesel (B2) que aumentou gradativamente até atingir 5% de biodiesel (B5) em janeiro de 2010. Em razão desses fatores, a produção de biodiesel aumentou exponencialmente e atingiu 2,67 milhões de metros cúbicos em 2011, derivados principalmente de soja (80%) e sebo (14%) (EPE, 2012). Apesar de o Programa de Biodiesel ter atingido seus objetivos em termos de garantir o suprimento, o encorajamento de produtores pequenos e menos favorecidos já não é um objetivo, tal como foi concebido quando o programa foi lançado.

### Questões institucionais

A exemplo de outras tecnologias inovadoras, o desenvolvimento de biocombustíveis de aviação depende fortemente de mecanismos de apoio e de políticas públicas apropriadas. A título de exemplo, a adoção do etanol e do biodiesel em muitos países requereu políticas específicas e ativas para reduzir as incertezas e a percepção de risco dos produtores e promover investimentos, além de proteger consumidores e o meio ambiente.

As razões básicas por trás dessas medidas são as vantagens e externalidades adicionais de usar energia renovável em comparação com o uso de combustíveis fósseis convencionais. Aliás, quando produzido e usado de maneira sustentável, um biocombustível pode promover benefícios ambientais, gerar empregos, atividade econômica e segurança energética como principais impactos positivos. É importante ressaltar que essas vantagens potenciais dos biocombustíveis são intrinsecamente dependentes das rotas de produção adotadas (*pathways*), incluindo o sistema produtivo de matérias-primas e o processo de conversão agroindustrial que devem ser adequadamente avaliados por indicadores de sustentabilidade.

Duas ações governamentais básicas para respaldar o desenvolvimento de biocombustíveis sustentáveis são: a promoção de atividades de P&D e a definição de uma especificação de combustível. Com respeito à primeira, nos contextos de agricultura, silvicultura, processamento e refino, há muitas lacunas a serem preenchidas, questões em aberto a serem exploradas e processos que devem ser melhorados. Algumas matérias-primas sugeridas para a produção de biocombustível de aviação, como pinhão manso e algas, são relativamente pouco estudadas, requerendo mais estudos. O capital de risco pode desempenhar um papel complementar e de especial relevância no caso do pinhão manso e camelina, duas culturas que têm uma infraestrutura de pesquisa pública relativamente pequena, mas recursos privados substanciais para P&D podem acelerar a incorporação dessas culturas na futura cadeia de produção de combustível para aviação. Entretanto, é claramente uma responsabilidade do governo estimular o desenvolvimento científico e tecnológico, promover estudos básicos, estimular projetos de demonstração e, como questão fundamental, preparar e motivar pesquisadores. Somente com recursos aplicados de maneira apropriada numa agenda ampla de pesquisa será possível analisar

o grande número de opções para sistemas de produção de biocombustíveis para a aviação e escolher sabiamente os mais promissores. Esse esforço de P&D deve ser permanente para otimizar a cadeia de biocombustível.

A especificação do biocombustível para a aviação deve cumprir simultaneamente os requisitos ambientais, de produção e de turbinas que, em muitos casos, estão em conflito e impõem uma análise judiciosa antes da decisão final. No caso da aviação, a globalização da demanda, as condições estritas de uso e os padrões de segurança impõem o conceito de “drop-in”. Um procedimento largamente aceito para o processo de aprovação de biocombustíveis já está disponível (ASTM D4054, *Standard Practice for Qualification and Approval of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives*). As normas da ASTM para combustíveis de aviação estão atualmente em processo de revisão pela ANP, a agência reguladora com autorização legal para estabelecer as especificações de combustíveis no Brasil, para incluir os combustíveis aprovados segundo os critérios da ASTM.

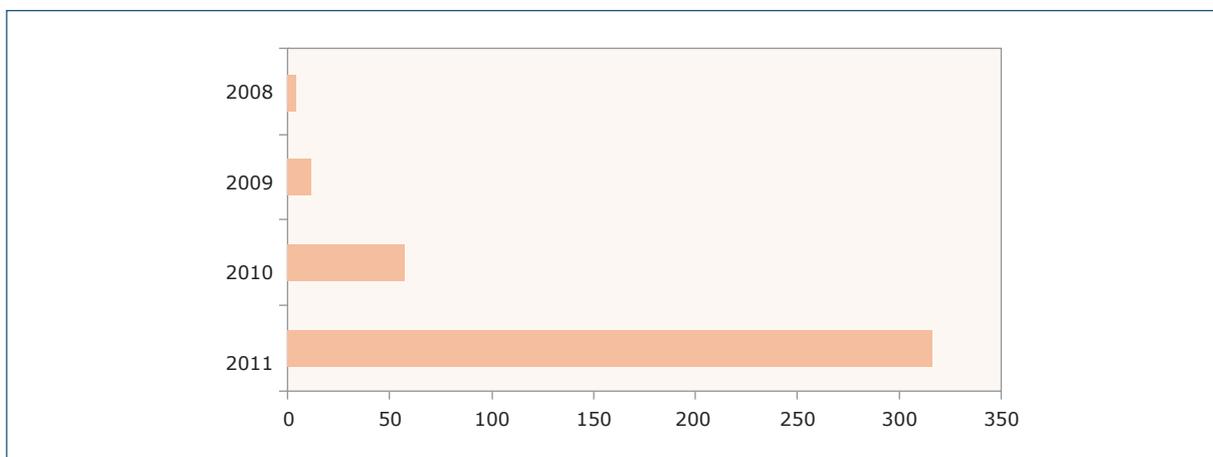
### Iniciativas em biocombustíveis para a aviação

Como um claro sinal do interesse e compromisso do setor de aviação com o desenvolvimento de biocombustíveis para a aviação, há um número crescente de iniciativas para promovê-los, incluindo voos de demonstração. Entre essas iniciativas, vale destacar:

- a promoção, pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos em Ciência, Tecnologia e Inovação (CGEE), em 2010, de um estudo sobre a introdução de biocombustíveis para aviação no Brasil;
- a criação da Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA), reunindo companhias brasileiras, “para discutir os vários aspectos do desenvolvimento sustentável de biocombustíveis aeronáuticos movido pela demanda crescente para atender aos requisitos de reduzir as emissões de gases do efeito estufa na aviação e também dar suporte à segurança energética do Brasil” (ABRABA, 2012);
- a definição de Metas Ambientais da Aviação Civil pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO), procurando minimizar o efeito adverso da aviação civil no meio ambiente e incluir ações para limitar ou reduzir o impacto dos GEE da aviação no clima global, usando biocombustíveis sustentáveis e ganhos de eficiência como elementos-chave. Essa agência lançou o *Global Framework on Aviation Alternative Fuels* (GFAAF) (ICAO, 2012);
- a criação, pela Agência Federal de Aviação dos Estados Unidos, da *Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative* (CAAFI), voltada para “melhorar a segurança energética e sustentabilidade ambiental da aviação mediante combustíveis para aviação alternativos” (CAAFI, 2012), num contexto em que os biocombustíveis são uma alternativa destacada;
- a inclusão, em 2011, de biocombustíveis para a aviação em uma plataforma da *European Industrial Bioenergy Initiative*, um importante elemento da política para energia e mudança climática da União Europeia (EC, 2011). Também sob os auspícios da UE foi realizado o estudo *Sustainable Way for Alternative Fuels and Energy for Aviation* (SWAFEA);
- o relatório *Flight Path to Sustainable Aviation* da *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* (CSIRO), em 2011, que se concentrou no desenvolvimento de uma indústria de biocombustíveis sustentáveis para a aviação na Austrália e na Nova Zelândia (CSIRO, 2011);

- o relatório *Sustainable Aviation Fuels Northwest*, em 2011, que se concentrou no desenvolvimento de uma indústria de biocombustíveis sustentáveis para a aviação na região Noroeste dos Estados Unidos (SAFNW, 2011);
- a decisão, em dezembro de 2012, da Comissão Europeia de adiar a implementação plena do *European Trading Scheme*, atendendo a um pedido da ICAO para tratar do tema num fórum internacional (EC, 2012);
- a *Iniciativa Española de Producción y Consumo de Bioqueroseno para Aviación* (bioqueroseno.es);
- a *Initiative Towards a Sustainable Kerosene for Aviation* (ITAKA).

Muitos voos comerciais e de demonstração foram feitos, envolvendo mais de 20 companhias aéreas em todo o mundo, utilizando biocombustíveis fabricados com diversas matérias-primas, entre elas o óleo de cozinha usado e plantas oleaginosas como colza, pinhão manso, camelina e óleo de palma (Figura 5). Durante a Conferência Rio+20, duas empresas aéreas brasileiras fizeram voos de demonstração usando biocombustíveis. A Azul Linhas Aéreas voou com um Embraer E-195, utilizando combustível renovável “drop-in” produzido no Brasil pela Amyris a partir de cana-de-açúcar. A Gol Linhas Aéreas voou com um Boeing 737-800 usando combustível fóssil misturado com biocombustível derivado de óleo de milho não comestível e usou óleo de cozinha usado fornecido pela UOP. Anteriormente, em 2010, a TAM já tinha testado um combustível de aviação contendo 50% de combustível fabricado com sementes de pinhão manso produzidas no Brasil.



**Figura 5:** Número de iniciativas em biocombustíveis para a aviação. Fonte: Hupe (2012)

### P&D em alternativas para combustível de aviação

Existem atualmente várias iniciativas para desenvolver biocombustíveis sustentáveis para aviação no Brasil e em outros países. Nenhuma delas pode ser considerada “comercial”, embora várias tenham recebido aprovação de certificação técnica da ASTM.

A ênfase deste projeto tem sido em tecnologias de refino. Basicamente, as iniciativas identificadas têm foco no desenvolvimento de moléculas similares ao querosene usando matérias-primas produzidas e processadas de maneira sustentável, a custos competitivos (negativos até, no caso de resíduos) e com importantes benefícios ambientais e sociais.

Muitas companhias de alta tecnologia estão associadas a diferentes *players*, incluindo linhas aéreas importantes, com P&D seguindo estratégias diversas. Os resultados indicam que nenhum produto está próximo de ser economicamente competitivo com o combustível convencional para aviação. Indicam também que esforços mais concentrados e integrados são necessários para superar barreiras ao aumento de escala. Isso deverá ser discutido com mais detalhes neste relatório.

## 6. Principais resultados dos workshops realizados no Projeto *Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil*

Foi organizada uma série de workshops cobrindo os principais aspectos envolvidos na produção de biocombustíveis sustentáveis alternativos para a aviação no Brasil. Um resumo dos resultados dos workshops é apresentado em seguida:

### 6.1 Matérias-primas

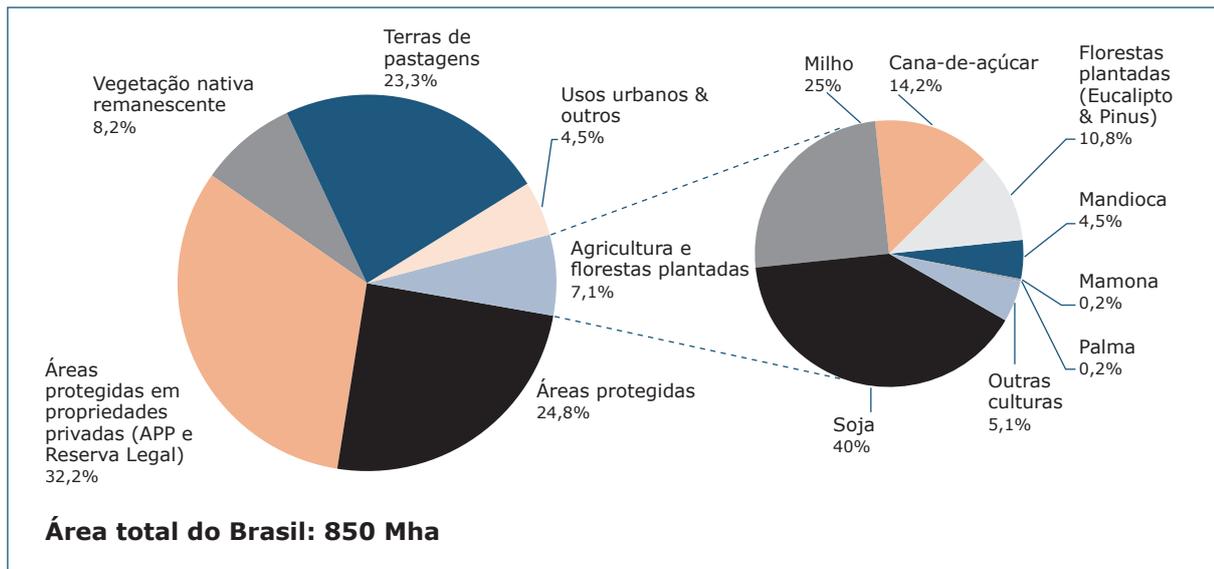
O Brasil tem uma forte tradição agrícola e figura entre os principais produtores e exportadores mundiais de muitos produtos agrícolas como soja, cana-de-açúcar, café, algodão, milho, frutas tropicais, carnes, etc. Essa posição relevante foi alcançada em razão de terra abundante, condições climáticas favoráveis, investimentos de longo prazo em pesquisa e desenvolvimento, e de um setor privado empreendedor. O Brasil tem uma combinação única de disponibilidade significativa de terras já desmatadas para agricultura, setor agrícola dinâmico apresentando um forte crescimento de produtividade, grande quantidade de vegetação nativa legalmente protegida, estritas leis de conservação, e regulamentos de saúde e segurança do trabalhador para atividades rurais equivalentes aos das atividades urbanas, embora algumas leis enfrentem alguma dificuldade de aplicação e baixo nível de cumprimento por parte de produtores rurais. Essa combinação notável situa o Brasil, na perspectiva de suprimento de matérias-primas, numa boa posição, desde que sejam implementadas políticas para desenvolver um programa de biocombustível para a aviação cumpridor dos princípios de responsabilidade e dos requisitos de sustentabilidade.

O setor agrícola ocupa 30,4% do território brasileiro (23,3% em pastagem e 7,1% em agricultura e florestas plantadas), enquanto 65% do território estão cobertos por vegetação nativa (Figura 6). A vegetação nativa legalmente protegida (unidades de conservação e reservas indígenas) representa 40% da vegetação remanescente total. Embora isso represente uma quantidade de terra protegida relevante, ela está concentrada no bioma amazônico. Os outros 60% estão localizados em propriedades privadas, nas quais 50% da vegetação remanescente total são protegidos pelo Código Florestal Nacional, considerando a legislação aprovada em 2012. As plantações anuais e perenes, porém, ocupam uma pequena proporção da terra agrícola total: somente 23% (7,1% do território brasileiro total). A maior parte das terras agrícolas é ocupada por pastagens usadas principalmente para a produção de gado.

A criação de gado, alimentado em pastos em sistemas extensivos, ainda caracteriza o padrão da produção de carne bovina do Brasil. Ainda existem grandes quantidades de pastagens degradadas

ou de baixa intensidade, que podem ser utilizadas de maneira mais eficaz para cultivar plantas para uma produção avançada de biocombustível, melhorando o valor ambiental e financeiro dessas terras. A intensificação da produção de gado será importante para permitir o crescimento da agricultura, evitando a pressão para a conversão da vegetação natural.

A integração de pastagem, agricultura e silvicultura também é uma possibilidade interessante porque permite tanto a melhoria das pastagens como a produção de matérias-primas de colheitas agrícolas e a silvicultura para a produção de biocombustível.



**Figura 6:** Uso da terra, área plantada com alguma matéria-prima para biocombustível no Brasil e potencial para expansão. Fontes: IBGE (2013), CONAB (2012) e ABRAF (2012). [Nota: reserva legal (áreas reservadas); áreas de proteção permanente (faixas de proteção de rios e áreas de declive alto), parques preservados, e reservas indígenas].

As culturas anuais e perenes estão se expandindo, principalmente sobre as pastagens, embora ainda ocorra o desmatamento da vegetação natural. Estima-se que cerca de 3/4 da expansão agrícola (culturas anuais e perenes), nos últimos 10 anos, ocorreram diretamente sobre pastos, e o quarto restante, por meio de conversão de vegetação nativa. A maior parte da expansão sobre a vegetação natural está relacionada à expansão da pecuária. A expansão da produção de culturas anuais e perenes, por sua vez, é fortemente explicada pelo aumento do rendimento, e não somente aumento da área.

A disponibilidade de matérias-primas para biocombustíveis para a aviação, em termos tanto de quantidades de produção como de diversidade de fontes, não é uma grande preocupação no caso do Brasil. A maioria das culturas no Brasil depende de água de chuva e, tradicionalmente, não requer irrigação. O território extenso tem áreas de climas temperado, subtropical e tropical, o que permite o cultivo de diferentes plantas, adequadas para biocombustíveis para aviação. O Brasil também tem uma longa experiência em biocombustíveis baseados na agricultura com o programa do etanol de cana-de-açúcar. Cerca de 50% da cana-de-açúcar produzidos são usados para etanol. Mais recentemente, o Brasil implementou o programa de mistura de biodiesel que

agora consome cerca de 26% da produção de óleo de soja. Diferentemente de algumas regiões do mundo, que estão adotando biocombustíveis baseados em produtos agrícolas, evidências mostram que, no Brasil, o setor agrícola tem sido capaz de atender a demanda crescente tanto de alimentos como de energia (*ver Box 1 na página 31*).

As matérias-primas potenciais mais promissoras para o desenvolvimento inicial de biocombustíveis para aviação no Brasil são plantas que contêm açúcares e amidos; a longo prazo, culturas tais como oleaginosas e as que produzem materiais lignocelulósicos e, por último, resíduos urbanos e industriais. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, o segundo maior produtor de soja e tem o custo de produção mais baixo do eucalipto; portanto, pode produzir competitivamente essas matérias-primas. No atual estágio, essas três culturas podem ser consideradas candidatas naturais para fornecer matérias-primas para começar uma indústria de biocombustíveis para aviação no Brasil, dependendo do processo de conversão escolhido. Uma regulamentação apropriada pode ser necessária para cumprir as restrições internacionais e estabelecer que a matéria-prima para biocombustível para aviação não comprometa a produção de alimentos, embora, historicamente, no Brasil, as produções de alimentos e de biocombustíveis tenham aumentado consistentemente em paralelo. Ademais, cana-de-açúcar e eucalipto podem ser produzidos com uma redução significativa das emissões de CO<sub>2</sub> na análise do ciclo de vida; as culturas oleaginosas podem suscitar mais preocupações. É importante reconhecer que, mesmo para as culturas mais estabelecidas, ainda há espaço para avanços, para reduzir ainda mais os custos e para melhorar o desempenho ambiental. O pinus também é uma planta florestal amplamente cultivada no Brasil e que pode ser usada.

O suprimento abundante de resíduos vegetais como palha, bagaço de cana e subprodutos florestais (tanto do campo como da indústria) também torna essa classe de matéria-prima uma boa alternativa. Neste caso, o custo de coleta e transporte e o dimensionamento das quantidades removidas do campo para preservar o solo são as principais lacunas e barreiras a serem superadas.

A retirada de matérias vegetais dos campos também deve levar em consideração seu impacto de longo prazo na qualidade do solo e da água, incluindo a biodiversidade. Portanto, será preciso estabelecer plataformas de pesquisa de sustentabilidade de matérias-primas no longo prazo para estudar o impacto das práticas florestais e agrícolas em solo, água e biodiversidade. Os dados desses locais fornecerão parâmetros ambientais e modelos de produtividade. Resíduo urbano, sebo e óleo de cozinha usado são opções para a produção de biocombustível, não só para reciclar produtos que, não fosse isso, iriam requerer modos de disposição dispendiosos, mas também porque eles evitariam preocupações com a segurança alimentar. O sebo já é amplamente usado para produzir biodiesel no Brasil (15% do óleo não fóssil são provenientes do sebo), mas os outros resíduos requerem maiores esforços para resolver problemas de coleta e/ou separação.

**“LUC” Direto.** A Mudança no Uso da Terra (LUC) causada pelo desmatamento para produzir culturas para bioenergia; e Mudança Indireta no Uso da Terra, ou “ILUC”, causada pela necessidade de expandir a produção em novas terras, para compensar culturas desviadas do uso original para o de biocombustíveis. São conceitos usados para estimar as emissões de CO<sub>2</sub> derivadas da mudança do uso da terra.

Outras matérias-primas não alimentares apropriadas incluem resíduos industriais. Esses resíduos são amplamente encontrados, por exemplo, na indústria siderúrgica brasileira e crescem a uma taxa anual de 5%. Essas matérias-primas de resíduos de fontes pontuais são inerentemente pouco valiosas, não competem com alimentos, nem afetam o uso da terra. Tecnologias de fermentação de gás podem utilizar esses resíduos industriais para capturar carbono, reduzir as emissões totais de GEE e produzir etanol para ser transformado em combustível para aviação.

Apesar de todas as matérias-primas consideradas já terem um mercado que, em muitos casos, paga um preço capaz de inibir seu uso em biocombustíveis para aviação, o consenso geral neste estudo foi que quantidades significativas de biomassa sustentável adicionais podem ser produzidas no Brasil. Tendo em vista as condições favoráveis à agricultura e à silvicultura, a produção no Brasil provavelmente terá um custo menor do que em qualquer outra parte. Nesse sentido, as fases de processamento e conversão terão um peso importante na definição das melhores opções de matérias-primas.

Tão importante quanto a disponibilidade de matérias-primas para biocombustível para aviação é a capacidade de as matérias-primas atenderem os requisitos de sustentabilidade. De acordo com o debate internacional, é bem reconhecido no Brasil que a expansão de matérias-primas com base na agricultura para a produção de biocombustível para aviação pode promover mudanças no uso da terra e impactos nos mercados de culturas alimentares. No entanto, em razão das características específicas da dinâmica da agricultura brasileira (conforme se discute no Box 1 na página 31), evidências sugerem que os efeitos indiretos causados pela expansão dos biocombustíveis, tanto em termos das emissões associadas às mudanças no uso da terra como dos impactos nos preços dos alimentos e na segurança alimentar, podem ser enfrentados no Brasil se forem tomadas as precauções adequadas.

Há razões para acreditar que a expansão futura de biocombustíveis baseados na agricultura pode ser mais forte que a expansão histórica. Portanto, as mudanças indiretas no uso da terra (ILUC, na sigla em inglês) e a competição com alimentos podem ter relevância crescente no futuro, especialmente quando o processo de intensificação e conversão de terras menos produtivas (em especial, pastagens) tiver atingido seu potencial. Assim, uma opção a ser considerada é o desenvolvimento de instrumentos e políticas para assegurar que a expansão da produção de matérias-primas para biocombustíveis seja feita de maneira sustentável.

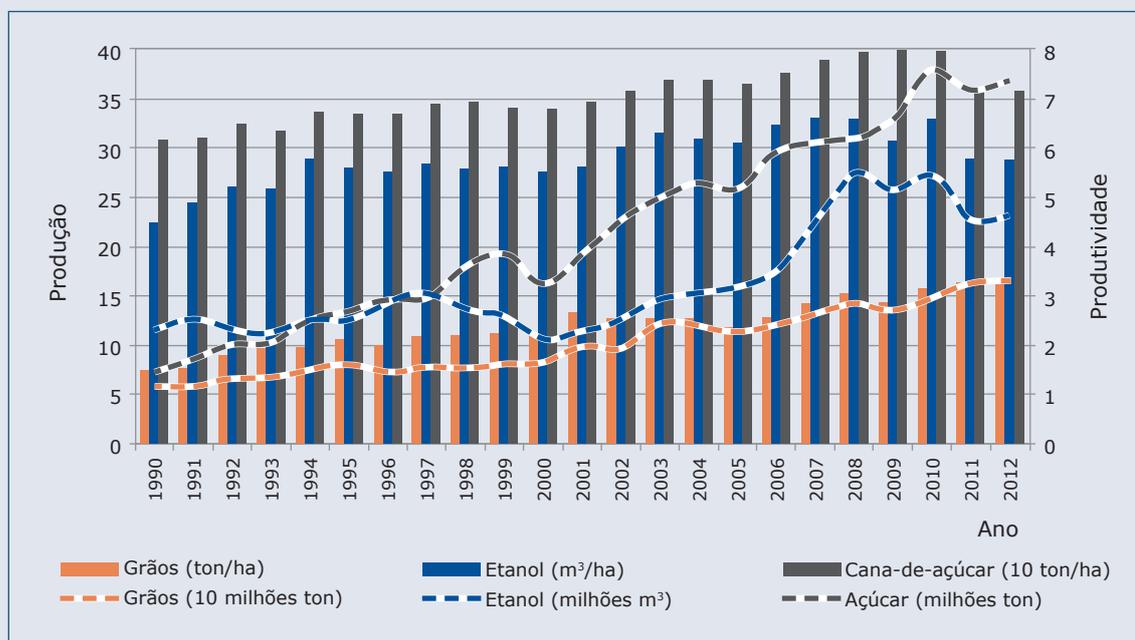
## 6.2 Processos de Conversão e de Refino

Tecnologias existentes permitem a conversão de matérias-primas agrícolas em biocombustíveis para aviação “drop-in”. Nos workshops, um leque de tecnologias de conversão e refino foi avaliada entre as quais gaseificação, pirólise rápida, liquefação por solvente, hidrólise enzimática de biomassa celulósica e lignocelulósica, oligomerização de álcool para combustível de aviação (ATJ), hidroprocessamento de ésteres e ácidos graxos (HEFA), bem como a fermentação de açúcares e resíduos (i.e. resíduo sólido urbano, gases de combustão, rejeitos industriais) para álcoois, para hidrocarbonetos (DSHC) e para lipídios. Todas essas tecnologias têm potencial para serem consideradas na produção de biocombustível para aviação.

**Box 1: Porque os efeitos indiretos da produção de matérias-primas para biocombustíveis são pequenos no Brasil**

ILUC e alimento versus combustível são os dois aspectos mais relevantes levantados como preocupações no debate sobre biocombustíveis. Várias evidências indicam que a expansão de biocombustíveis no Brasil não prejudicou a produção de alimentos. As mesmas evidências mostram também que os receios relativos a uma relação causal direta entre expansão de biocombustíveis e a conversão de terras nativas não são corroboradas pela realidade. As evidências se baseiam nos seguintes fatos:

- A agricultura brasileira está enfrentando um processo de intensificação e ganhos de eficiência com rendimentos crescentes nas culturas vegetais e na criação de animais;



- Ainda há muito espaço para a intensificação da produção de gado no Brasil. Rendimentos técnicos como a idade de abate, taxa de nascimento de bezerros e carne produzida por hectare ainda são baixos no Brasil. O Brasil desenvolveu um sistema de dupla safra que permite a integração de soja e milho no mesmo ano. A safrinha (segunda safra) já é responsável pela metade da produção total de milho no Brasil e desde o ano 2000 toda a expansão da produção de milho ocorreu como safrinha;
- A expansão da cana-de-açúcar para etanol, embora muito forte, não prejudicou a expansão de outras culturas anuais e perenes. Portanto, em vez de alimento-versus-combustível, a realidade no Brasil mostra uma situação alimento-e-combustível;
- O cultivo de sementes oleaginosas em rotação com cana-de-açúcar também está gerando alimento e combustível nos mesmos sistemas;
- O desflorestamento foi reduzido desde 2004. Os níveis reduzidos de desflorestamento em 2011 e início de 2012 foram muito animadores, cerca de 75% mais baixos que os níveis de 2004.

No Brasil, a fermentação de carboidratos (açúcares) para hidrocarbonetos ou para lipídios está atingindo estágio comercial, com instalações únicas no gênero entrando em operação (Amyris, 2013 e Solazyme, 2012), gerando dois produtos principais diferentes. No primeiro, o hidrocarboneto obtido é um produto C15 não saturado com quatro ligações duplas e precisaria de 4% de hidrogênio (base de peso) para produzir biocombustíveis para aviação (DSHC). O segundo produto é um óleo microbiano, que tipicamente pode ser uma matéria-prima muito boa para conversões HEFA.

A lignocelulose é a matéria-prima mais barata entre as examinadas e pode ser inteiramente processada. Mas sua conversão em gás de síntese (Syngas, usado o processo Fischer-Tropsch<sup>1</sup>), bio-óleo e biocarvão, requerem equipamentos caros e condições de alta temperatura. A conversão de lignocelulose pode se tornar importante no futuro próximo, quando os custos do equipamento caírem.

### “Biocombustíveis de Segunda Geração”

Também conhecidos como biocombustíveis avançados, são combustíveis “drop-in” que podem ser fabricados sem nenhum impacto adverso na segurança alimentar.

A hidrólise enzimática de lignocelulose não precisa desse equipamento caro: mas o processo ainda é lento e necessita de uma melhoria substancial para fornecer hidrolisados de boa qualidade para suprir a grande demanda potencial por biocombustíveis fermentados. Ademais, são necessárias enzimas mais baratas e mais eficazes para tornar a hidrólise enzimática economicamente viável. O melhoramento de micro-organismos para excretar quantidades maiores de enzimas, funcionando sinergeticamente, seria muito vantajoso. É desejável ter enzimas com alto número de ciclos catalíticos e mais afinidade por seus substratos, com robustez aumentada para o processo de biocombustíveis. A fermentação de açúcares em álcoois (i.e. bioetanol) é bem desenvolvida e comercialmente realizada em todo o mundo. O Brasil tem uma longa tradição de produzir bioetanol e esse

biocombustível é usado atualmente como elemento para produzir polietileno numa planta química comercial que é um exemplo bem-sucedido para outros processos de melhoramento como a tecnologia ATJ. Esses álcoois podem ser facilmente desoxigenados para gerar biocombustível pelos processos ATJ. Naturalmente, açúcares de segunda geração melhorariam a sustentabilidade de combustíveis de segunda geração para aviação, derivados de açúcar, como ATJ, DSHC e outras rotas HEFA (i.e. óleo de alga derivado de açúcar).

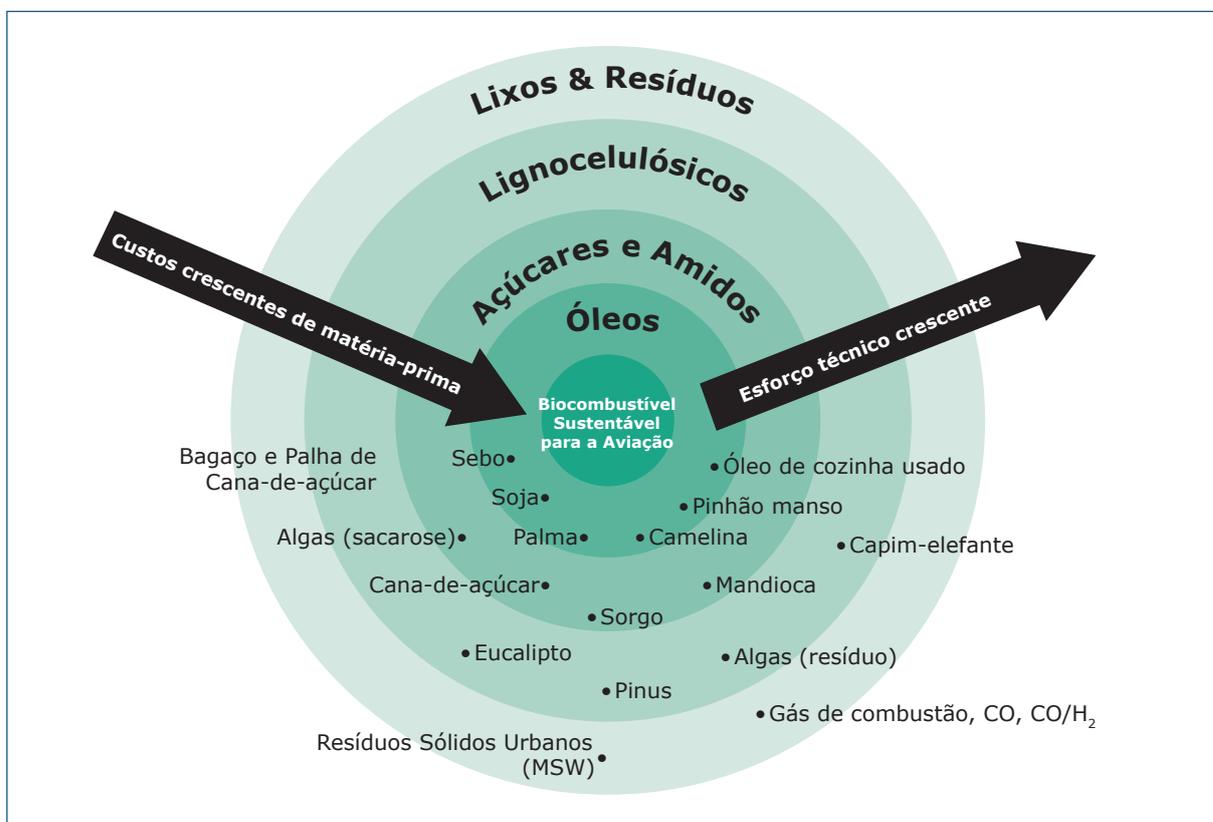
A conversão de óleos vegetais em hidrocarbonetos (HEFA) é um processo comercial. Entretanto, as matérias-primas são em geral caras em comparação com materiais fósseis, apesar de seus custos serem divididos por outros subprodutos, como a proteína de soja no Brasil. A integração dessa planta a uma refinaria/usina de eletricidade existente reduziria os custos da etapa de hidrogenação do processo. A Petrobras desenvolveu conceito semelhante para o Processo HBIO, que poderá ser aplicado em unidades de hidrotreamento de diesel já existentes para processar mistura de até 10% de óleo vegetal na matéria-prima. Isto exigiu uma avaliação de engenharia de processo para verificar parâmetros operacionais importantes, como o consumo

<sup>1</sup> “Processo Fischer-Tropsch” é um conjunto de reações químicas que converte uma mistura de monóxido de carbono e hidrogênio em hidrocarbonetos alifáticos (combustíveis como gasolina ou querosene).

de hidrogênio. O processo HBIO aguarda oportunidade econômica para se tornar operacional em algumas unidades de HDT da Petrobras, onde foram realizados os testes. O produto final tem uma composição química semelhante à do combustível fóssil.

A conversão de resíduos urbanos e industriais por processos bioquímicos, evitando com isso as condições de alta temperatura dos processos termoquímicos aplicados a materiais celulósicos, está sendo desenvolvida e a viabilidade comercial de alguns *pathways* ainda não foi comprovada. Entretanto, a conversão bacteriana de gases de exaustão (ricos em CO) em etanol evoluiu em duas plantas de demonstração na China, pela LanzaTech, e plantas comerciais estão em desenvolvimento. Os resíduos estão em geral disponíveis com custos baixos, às vezes negativos, e a transformação de resíduos em produtos úteis deve ser encorajada, mesmo que seu preço futuro possa aumentar como reflexo de seu valor. Serão necessárias outras pesquisas para conhecer os custos de separação e processamento dos diferentes constituintes, principalmente para os resíduos urbanos. A conversão de sebo e gorduras é possível usando-se o processo HEFA, mas a disponibilidade limitada e o custo de oportunidade dessas matérias-primas as estão levando à produção de biodiesel no Brasil.

Em resumo, as matérias-primas podem ser discutidas de acordo como o quão perto elas estão e podem ser convertidas no objetivo: “biocombustível sustentável para a aviação”. A Figura 7 mostra, de maneira simplificada, que quanto mais perto do centro, mais cara é a matéria-prima, porém mais fácil ou menos cara é a tecnologia de conversão.



**Figura 7:** Matérias-primas e sua posição relativa segundo custos e esforços técnicos para serem convertidas em biocombustível para a aviação. Somente para ilustração. Preços das matérias-primas e esforços técnicos podem variar significativamente. Esta figura não representa a opinião de todos os *Stakeholders*.

### 6.3 Indicadores de sustentabilidade

Sustentabilidade é um tópico fundamental a ser tratado na criação de um mercado para a produção e o uso de biocombustíveis para aviação no Brasil. Tem havido muito ceticismo, em especial quanto à agricultura, com respeito a práticas que, no contexto do mercado de biocombustíveis, seriam consideradas não sustentáveis com respeito a questões sociais e ambientais. Ademais, há uma pressão crescente, especialmente do mercado europeu, pela adoção de práticas mais sustentáveis em operações de biocombustíveis. Em função disso, normas de sustentabilidade e esquemas de certificação ditados pelos *Stakeholders* se tornaram comuns nos últimos anos como um meio de demonstrar sustentabilidade na cadeia de produção.

A avaliação de sustentabilidade na produção de matérias-primas no Brasil é realizada de acordo com os princípios e critérios das normas internacionais de sustentabilidade atualmente disponíveis e mais bem conhecidas para a produção de biocombustíveis, a saber, Bonsucro, Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB) e o *International Sustainability and Carbon Certification System* (ISCC). Esses princípios e critérios estão de acordo com os sugeridos por Goldemberg (2011), ao analisar aspectos de sustentabilidade na produção de biocombustível. É importante discutir estas questões, pois a certificação de sustentabilidade se tornará cada vez mais um requisito para o acesso a mercados, já que as normas e processos de certificação são complexos e requerem adaptações da cadeia produtiva.

Os requisitos de sustentabilidade analisados foram:

(i) Leis e Convenções Internacionais	(ii) Produção e Eliminação de Resíduos
(iii) Direitos Fundiários	(iv) Manejo de Colheita e Uso de Agroquímicos
(v) Condições de Emprego, Salários e Trabalho	(vi) Mudanças Diretas no Uso da Terra
(vii) Saúde e Segurança Humanas	(viii) Avaliação de Impacto Social e Ambiental
(ix) Emissões de GEE	(x) Desenvolvimento Social e Rural
(xi) Biodiversidade e Ecossistemas	(xii) Contratantes e Fornecedores
(xiii) Conservação do Solo	(xiv) Engajamento e Comunicações com <i>Stakeholders</i>
(xv) Uso e Contaminação da Água	(xvi) Viabilidade Econômica e Eficiência em Produção e Processamento
(xvii) Poluição do Ar	(xviii) Segurança Alimentar

Apesar de haver diferenças importantes entre os quatro grupos<sup>2</sup> de matérias-primas, algumas conclusões gerais podem ser tiradas com respeito à produção de biocombustíveis e as lacunas para atender aos requisitos de sustentabilidade.

Na esfera social, os principais impactos positivos são o alto potencial para a criação de empregos, geração de renda e desenvolvimento regional. Com respeito às lacunas no atendimento aos requisitos de sustentabilidade, os seguintes aspectos eram comuns a todos os grupos: grande número de leis e regras, por vezes mais rígidas que as normas de sustentabilidade; diferentes

<sup>2</sup> Açúcares e amido, óleo, lignoceluloses, e resíduos.

interpretações e falta de conhecimento de como aplicar as leis; aplicação desigual e algumas leis trabalhistas inadequadas ao contexto rural. Há ainda uma necessidade de qualificação e treinamento de trabalhadores.

Com respeito a aspectos ambientais, o principal impacto positivo gerado pelo atendimento dos requisitos é a redução das emissões de GEE em comparação com combustíveis fósseis, em especial nos grupos de sacarose e celulose, embora ainda haja algumas dificuldades com cálculos e dados.

A legislação brasileira estabelece que ao menos 20% da terra de fazendas individuais (50% a 80% na região amazônica) sejam protegidos como Reserva Legal para preservar recursos naturais, fontes de água, biodiversidade, e abrigo para a fauna e a vegetação nativas. Além disso, as áreas de terra em torno de cursos de água, bem como aquelas nas encostas, com declividade superior a 45°, são Áreas de Preservação Permanente e não podem ser legalmente convertidas para a produção. Aspectos da legislação brasileira sobre questões de sustentabilidade e as considerações sobre as dificuldades na aplicação da lei são discutidas no Box 2 abaixo.

### **Box 2: Aplicação da lei e Sustentabilidade**

A produção ambientalmente sustentável de biocombustível para aviação é um objetivo estratégico da indústria da aviação, de modo que cumprir os padrões de sustentabilidade é de grande importância.

A legislação brasileira é muito rígida na proteção de recursos naturais, água e biodiversidade. O Código Florestal Brasileiro está entre as legislações mais restritivas no uso da terra. As leis trabalhistas são igualmente severas. Porém, em algumas circunstâncias, cumprir os princípios legais das normas de sustentabilidade é considerado um desafio. Muitas leis e regras são complexas, passíveis de interpretações diferentes e, por vezes, como no Código Florestal, exigem investimentos dispendiosos para compensar desmatamentos feitos no passado sob outras legislações. Geralmente, os produtores pequenos e independentes têm ainda mais dificuldade de cumprir as regras por causa dos altos custos envolvidos. Além disso, o extenso território brasileiro torna mais difícil aplicar algumas leis. Nessas condições, o arcabouço legal existente, que pode ser bastante eficaz para garantir padrões altos de sustentabilidade, fica amíúde aquém de seus objetivos.

Macedo e Seabra (2008) analisaram as emissões e mitigação de GEE para o etanol de cana-de-açúcar no Brasil para o período 2002-2008 e as mudanças esperadas na expansão de 2008-2020. Com respeito aos efeitos das mudanças no uso da terra (LUC, na sigla em inglês), a expansão do etanol, iniciada em 2002, levou a um uso muito pequeno de terras com vegetação nativa (menos de 1%) e a um uso grande de terras de pastagens de baixa produtividade e algumas áreas cultivadas (soja e milho). A área relativamente pequena usada para a expansão decorreu da disponibilidade de terra<sup>3</sup>, restrições ambientais e condições econômicas locais. Cenários de crescimento para 2020 (atingindo 60 milhões de metros cúbicos de etanol) indicam a necessidade

<sup>3</sup> Ver *Brazilian Sugarcane Agroecological Zoning (ZAE Cana)* [http://www.cnps.embrapa.br/zonaamento\\_cana\\_de\\_acucar/](http://www.cnps.embrapa.br/zonaamento_cana_de_acucar/)

de áreas adicionais relativamente pequenas (aproximadamente 5 milhões de hectares) comparadas à disponibilidade (terras aráveis não utilizadas ou terras de pastagens degradadas). Assim, se forem implementadas políticas e aplicada a lei para assegurar um uso ótimo da terra para biocombustíveis, eles observaram que é esperado um impacto muito pequeno (se algum) em LUC e emissões de GEE. Considerando as condições locais no Brasil, Macedo e Seabra (2008) estimaram que a área necessária para a expansão é muito pequena quando comparada com as áreas liberadas pelo aumento da eficiência na criação de gado (30 milhões de hectares) e outras terras aráveis não utilizadas. Eles mostraram que a expansão da cana-de-açúcar tem sido independente (e muito menor) do crescimento de outras culturas agrícolas. Em todas as áreas de expansão da cana-de-açúcar, os eventuais produtos de competição (colheitas e produção de carne bovina) também se expandiram.

Outro tópico globalmente discutido na sustentabilidade de biocombustíveis é o debate alimento versus biocombustível. Segundo Rosillo-Calle (2012) “a produção do biocombustível e a segurança alimentar precisam ser complementares”. É importante avaliar os impactos da produção de biocombustível na segurança alimentar, mas sem desconsiderar os impactos positivos que a renda adicional causa na produtividade agrícola. É igualmente importante lembrar os benefícios que esses combustíveis alternativos geram se cumprirem sua função mais importante, que é reduzir as emissões de GEE de toda a cadeia de suprimento quando comparados a combustíveis fósseis. No Brasil, há terra disponível suficiente para a produção de alimento e biomassa para biocombustíveis (CGEE, 2012; Goldemberg, 2008; Goldemberg et al. 2008; Nassar et al., 2011). A expansão agrícola vem ocorrendo cada vez mais em áreas de pastagens degradadas e a produtividade na pecuária aumentou significativamente, de 0,92 cabeça/hectare em 2000 para 1,15 cabeça/hectare em 2010 (IBGE; Outlook Brazil 2022).

Por enquanto, não há metodologia amplamente aceita e não há dados suficientes para calcular as ILUC de maneira consistente. No entanto, tanto a Europa como os Estados Unidos possuem regulamentos relativos às emissões de biocombustíveis na mudança indireta do uso da terra. Somente os Estados Unidos definiram uma metodologia para medir as ILUC. Na Europa, a Diretriz de Energia Renovável (RED) declara que todos os efeitos indiretos importantes devem ser considerados, mas o conceito e a metodologia para medir as ILUC ainda estão sendo discutidos.

Em abril de 2009, o *California Air Resources Board* (CARB) aprovou as regras específicas e valores de referência para intensidade de carbono do *California Low-Carbon Fuel Standard* (LCFS), que inclui as ILUC. Para alguns biocombustíveis, o CARB identificou mudanças no uso da terra como uma fonte significativa de emissões adicionais de GEE. O etanol de cana-de-açúcar do Brasil foi considerado um biocombustível avançado, em razão de sua redução verificável de 90% na emissão de gases do efeito estufa.

Em fevereiro de 2010, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos emitiu seu regulamento final *Renewable Fuel Standard* (RFS2) para 2010 e além, que incorporou emissões diretas e indiretas significativas incluindo as ILUC. A análise da EPA aceitou como combustíveis renováveis tanto o etanol produzido de amido de milho, como o biobutanol de amido de milho. O etanol produzido de cana-de-açúcar foi classificado como um combustível avançado com base em seu desempenho em GEE. Tanto o diesel produzido de óleos de algas como o biodiesel de óleo de soja e o diesel de óleos usados, gorduras e graxas caíram na categoria “diesel baseado em biomassa”. O etanol celulósico e o diesel celulósico satisfizeram a norma de “biocombustível celulósico”.

### Box 3: Workshops Regionais

Os Workshops Regionais ofereceram visões sobre desafios e oportunidades no *roadmap* de *Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil*. EPFL (Victoria Junquera e Sébastien Haye) e 4CDM (Cristiane Azevedo) se reuniram aos interessados locais incluindo produtores, ONGs, especialistas acadêmicos e agências públicas em três workshops. O *roadmap* principal teve a maior concentração de partes interessadas (e a maioria de seus workshops) da Região Sudeste de modo que os Workshops Regionais forneceram contribuições de três regiões: Nordeste (Recife), Centro-Oeste (Cuiabá) e Sul (Curitiba). A Região Norte não foi incluída nos Workshops Regionais porque ela é predominantemente formada por floresta amazônica e por isso não foi considerada uma provável candidata para o desenvolvimento de combustível sustentável para aviação.

As principais conclusões e recomendações dos Workshops Regionais estão listadas abaixo:

**MATÉRIAS-PRIMAS** – Explorar o potencial de matérias-primas adaptáveis a cada região tais como: **Nordeste** – espécies de palmeiras nativas (Babaçu - *Attalea speciosa*, Catolé - *Syagrus cearenses*, Licuri - *Syagrus coronata*, e Macaúba - *Acrocomia intumescens*), semente de mamona - *Ricinus communis*, oiticica - *Licania rígida*, algodão, outros óleos e microalgas; **Centro-Oeste** – algodão, batata doce não comestível, camelina e soja; **Sul** – amendoim, camelina, cártamo - *Carthamus tinctorius*, colza, crambe - *Hochst abyssinica*, girassol, mamona, macaúba, nabo forrageiro - *Raphanus sativus L*, pinhão manso, resíduos de madeira, silvicultura, e tunguem - *Aleurites fordii*. Há pouquíssimas informações agronômicas disponíveis sobre a maioria, por isso é preciso estabelecer estudos agronômicos para produzir diretrizes e melhores práticas.

**FOCO** – No curto prazo, foco nos produtores de médio a grande porte, já que podem produzir na escala necessária.

**COLABORAÇÃO** – Desenvolver um modelo que permita uma colaboração estruturada entre universidades, organizações de pesquisas nacionais e estaduais, agências do governo e indústria, que estimule a inovação e o diálogo enquanto minimiza a burocracia, alavanca capacidades por todo o país e transfere tecnologias para a indústria. Prover mecanismos para financiamento de investidores nacionais e internacionais, e também do governo. Impulsionar a produtividade e o desenvolvimento regional com mecanismos de extensão rural para transferir conhecimento de melhores práticas entre institutos agronômicos estaduais, Embrapas locais e entidades de pesquisa.

**SUSTENTABILIDADE** – Uma definição comum de sustentabilidade: “atender as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”. É crucial enfrentar os aspectos econômicos, sociais e ambientais da sustentabilidade no desenvolvimento de cadeias de suprimento para biocombustíveis para a aviação. Faz sentido comercial evitar a criação de impactos desnecessários e provocar controvérsias sobre terra, água, condições de trabalho, preços dos alimentos ou desflorestamento, e demonstrar a viabilidade financeira no longo prazo em um mundo que poderá ser dominado pelos efeitos das mudanças climáticas na agricultura. As normas internacionais de sustentabilidade e certificações voluntárias, como o Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB) ou Bonsucro, permitem que os produtores demonstrem a toda sua cadeia de abastecimento que estão usando boas práticas, dando-lhes uma vantagem no mercado, especialmente de biocombustíveis para a aviação, em que os compradores estão interessados em provar a sustentabilidade de seus suprimentos de combustível.

**POLÍTICAS** – Estabelecer políticas que incentivem e considerem toda a cadeia de suprimento e o setor de biocombustíveis como um todo, e não políticas específicas para uma particular matéria-prima ou processo. Aplicar políticas de incentivo inteligentes ao longo do tempo, em níveis regionais e nacional para chegar a uma produção economicamente sustentável. Expandir o investimento em infraestrutura, especialmente rodoviária e ferroviária, como uma condição fundamental para a aceleração regional dos setores de biocombustíveis e do desenvolvimento em geral do Brasil.

#### 6.4 Logística do querosene de aviação

As discussões sobre a logística de produção e distribuição de querosene de aviação (QAV) no Brasil incluíram requisitos de controle de qualidade e procedimentos de segurança associados ao manuseio de QAV, e os impactos da comercialização de biocombustível para aviação no sistema de distribuição. Várias conclusões foram tiradas. Os principais *stakeholders* na cadeia de distribuição de QAV convencional no Brasil, futuros produtores de biocombustível para aviação, associação de companhias aéreas, associações internacionais de especificações e agências reguladoras brasileiras participaram do processo de discussão.

As principais conclusões sobre logística são:

- a) a logística do QAV convencional no Brasil é bastante organizada. Apesar de o consumo estar muito concentrado em grandes aeroportos internacionais, próximo de refinarias de petróleo, uma pequena fração vai para aeroportos regionais que às vezes só podem ser alcançados por ar ou por água durante parte do ano. De mais a mais, algumas regiões do país são supridas quase exclusivamente por QAV importado. Todos esses aspectos terão de ser considerados na implementação de uma política nacional para promover o biocombustível para aviação;
- b) ao adotar o conceito internacional de biocombustível para aviação “drop in”, as principais barreiras previstas para a logística de distribuição de biocombustíveis para aviação – como a recertificação de aviões, mudanças na infraestrutura de aeroportos, estabelecimento de controle de qualidade, requisitos de rastreabilidade e auditoria compatíveis com a aviação – serão superadas. Após a aprovação da mistura, segundo a ASTM D7566, atestada pelo Certificado de Qualidade de lote, o biocombustível é re-identificado como satisfazendo a ASTM D1655. E se torna intercambiável com qualquer combustível para aviação aprovado e sujeito aos mesmos requisitos que o combustível de aviação convencional;
- c) persistem certamente algumas lacunas e barreiras na comercialização, principalmente na logística do biocombustível antes do ponto de mistura, e com o estabelecimento de requisitos técnicos e legais que o “misturador” terá que cumprir. Segundo a

#### Querosene de aviação: especificações técnicas requeridas

- Poder Calorífico (mín. 42,8 MJ/kg)
- Massa específica a 15 °C (entre 775-840 kg/m<sup>3</sup>)
- Volatilidade adequada (temperatura de destilação atmosférica entre 200 e 300 °C)
- Ponto de congelamento (máx. -47 °C, para querosene de aviação A-1)
- Viscosidade a -20 °C (máx. 8 mm<sup>2</sup>/s)
- Sem presença de água
- Quimicamente estável e com baixo potencial corrosivo
- Aditivos são usados em querosene de aviação (QAV) para alcançar as especificações desejadas, por exemplo: antioxidante; anticorrosivo; dissipador de carga eletrostática; anticongelante
- As especificações técnicas precisam acompanhar as especificações de IATA e ASTM.

ANP, essa questão será regulamentada durante o processo em curso de revisão da Resolução Nr 37/2009;

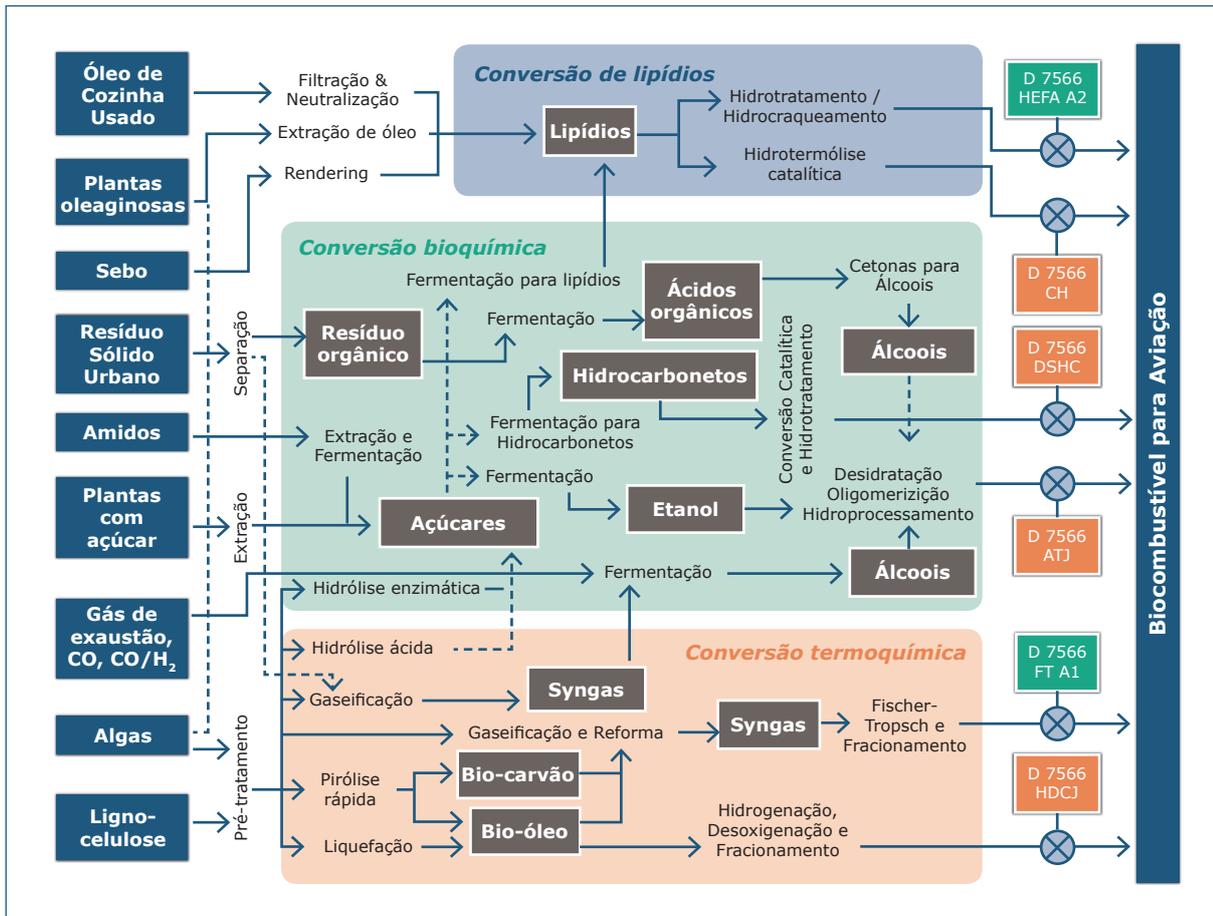
- d) dos 13 maiores aeroportos responsáveis pelo consumo de 85% de QAV no país, 10 são abastecidos principalmente por refinarias de petróleo próximas, dois são abastecidos por importações por via marítima (7%) e somente o Aeroporto Internacional de Brasília (6%) é abastecido por meio de caminhões-tanque de uma refinaria a 700 quilômetros de distância. Portanto, a melhor alternativa para o acabamento do biocombustível, preparação da mistura e emissão do certificado de qualidade para o lote de biocombustível para aviação está num terminal próximo a aeroportos e fornecedores. Por outro lado, um aeroporto como o de Brasília, que consome aproximadamente 0,5 milhão de metros cúbicos de QAV por ano, que fica longe de refinarias e próximo de locais de produção de matérias-primas agrícolas, poderia se beneficiar economicamente se o ponto de “drop-in” ficasse próximo;
- e) como o processamento inicial de matérias-primas agrícolas deve ser feito próximo do campo por razões econômicas, a logística da produção de biocombustível para aviação merece estudos detalhados para cada tipo de matéria-prima e processo aplicado para maximizar os benefícios econômicos.

## 6.5 Os *Pathways* Identificados e as Lacunas de P&D

### *Pathways* identificados

Após discutir as matérias-primas e os processos de refino para a produção de combustíveis renováveis para aviação, múltiplos *pathways* (rotas) foram identificados durante o projeto. Os requisitos de certificação para o uso em aviação comercial são estabelecidos internacionalmente segundo a ASTM D7566, que contém um anexo especial para cada processo de produção de combustível de aviação alternativo aprovado. A Figura 8 apresenta um panorama de todos os *pathways* identificados pertinentes ao Brasil, incluindo a denominação e status do processo de aprovação da ASTM. Conforme mostrado, dois dos processos de produção final de combustível de aviação já estão aprovados (box verdes na Figura 8) e vários outros ainda estão sob a análise no Comitê de Combustíveis Emergentes da ASTM.

**“Pathway” (ou Rota)**  
É uma combinação de matéria-prima, pré-tratamento, conversão e processo de produção específico de combustível para aviação.



**Figura 8:** Pathways identificados para a produção de biocombustível sustentável de aviação no Brasil [Nota: HEFA – Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados; CH – Hidrotermólise Catalítica; DSHC – Fermentação direta de Açúcares para Hidrocarbonetos; ATJ – Álcool para combustível de aviação; FT – querosene parafínico sintetizado hidroprocessado Fischer-Tropsch; HDCJ – Celulósico Despolimerizado Hidrotratado para combustível de aviação].

Após o pré-tratamento, as matérias-primas possíveis são submetidas a diferentes processos de conversão, classificados aqui como: conversão de lipídios, bioquímica e termoquímica. Os processos finais de produção de biocombustíveis para aviação são geralmente processos semelhantes aos de refinarias de petróleo.

Apesar de os processos de conversão de lipídios e termoquímicos já terem algumas rotas aprovadas pela ASTM, os vários *pathways* de conversão bioquímica ainda precisam de aprovação.

#### Lacunas de P&D e de Comercialização

Em termos gerais, é necessário criar programas de P&D que tenham objetivos definidos e que levem em consideração as metas para os biocombustíveis para aviação e o grande número de rotas a serem tratadas.

- tornar o *pathway* tecnicamente viável quando houver necessidade de demonstrar a viabilidade técnica-comercial;
- reduzir as emissões de GEE de uma perspectiva da análise do ciclo de vida completo quando as emissões líquidas de GEE do biocombustível ainda forem altas demais para justificar seu uso;

- reduzir os custos de produção de biocombustíveis quando o preço de produção final do biocombustível (custo + margem de lucro) ainda ficar acima do preço de mercado do combustível de aviação; e
- melhorar os indicadores ambientais e socioeconômicos quando seus benefícios ainda não forem significativos.

Comercialmente, é importante reconhecer que biocombustíveis bem-sucedidos construíram sua viabilidade econômica sobre coprodutos. Foi esse o caso do etanol brasileiro de cana-de-açúcar em relação ao açúcar, do etanol de milho americano em relação aos resíduos de destilação usado como ração e do biodiesel de soja em diferentes países, onde a torta de soja é comercializada como ração. Evidentemente, o tamanho e as características do mercado de coprodutos também determinarão como será construída a equação econômica biocombustível-coproducto. No entanto, é reconhecido que, no que se refere ao biocombustível para a aviação, certamente uma estratégia importante para obter um biocombustível de custo mais baixo será desenvolver coprodutos de alto valor. Vale mencionar que geralmente os processos não produzem apenas biocombustível para aviação, mas também diesel e gasolina renováveis, o que deve ser considerado junto em um programa integrado de biocombustível.

#### "LCA"

É a sigla em inglês para Análise de Ciclo de Vida, uma metodologia que permite o cálculo das emissões de GEE em toda a cadeia de suprimento de um dado produto, em nosso caso, biocombustíveis para a aviação.

Além das orientações acima, para o estabelecimento de um programa de P&D é fundamental definir também uma estratégia (abordagem) de P&D a ser seguida. Isso determinará os esforços, traduzidos na quantidade de recursos financeiros e humanos a serem investidos, realizações e benefícios futuros.

#### P&D para *pathways* Identificados

O *pathway* da conversão de lipídios é bem estabelecido e aprovado pela ASTM como o HEFA – ésteres de ácidos graxos e ácidos graxos livres hidroprocessados. O custo do investimento em hidroprocessamento é considerado baixo, mas o custo das matérias-primas pode representar mais de 70% do custo total (EC, 2011). A disponibilidade de hidrogênio barato pode afetar significativamente o custo final. A principal lacuna neste caso é comercial. O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel brasileiro, bem estabelecido no mercado desde 2005, compete pelas mesmas matérias-primas – plantas oleaginosas, sebo e óleo de cozinha usado. Mercados de nicho eventuais para suprir aeroportos distantes de refinarias, mas próximos de campos agrícolas, poderiam ser promovidos pela produção de hidrogênio a partir de biomassa, um aspecto que precisa ser mais bem desenvolvido no Brasil. A alta produtividade de óleo da palma precisa ser mais bem explorada para as condições brasileiras e a P&D de seus aspectos agrícolas precisa ser incentivada. A P&D com outras plantas produtoras de óleo pode ajudar a melhorar os avanços da agricultura em terras que não estão sendo atualmente usadas para agricultura, mas é necessário tratar os biocombustíveis brasileiros de maneira integrada para evitar a competição por matérias-primas entre biocombustível para aviação e biodiesel. Outra possibilidade de matéria-prima é o lipídio microbiano produzido pela fermentação de açúcares solúveis (heterotrófico)

ou produzido diretamente de algas (fototrófico). As lacunas em P&D para esses *pathways* vão da biologia aplicada para melhorar a estabilidade de micróbios, à construção de unidades de demonstração de porte suficiente para obter preços competitivos. Se a celulose puder ser usada como matéria-prima, podem-se esperar alguns benefícios de custo no longo prazo.

O *pathway* da conversão bioquímica inclui matérias-primas diversas como resíduo sólido urbano, gases de combustão ricos em monóxido de carbono e açúcares fermentáveis, quer sejam de plantas, conversão de amido ou hidrólise de material celulósico. A maioria dos *pathways* produz álcoois como produtos intermediários que são transformados em biocombustível para aviação pelo processo ATJ, que pode ser o próximo anexo aprovado pela ASTM. O outro *pathway* possível é o DSHC – *Direct Sugar to Hydrocarbon*, que é também submetido à ASTM e usa micróbios geneticamente modificados para converter o açúcar, seguido de uma hidrogenação suave para obter o combustível para aviação.

Há várias lacunas de P&D a serem preenchidas segundo o estágio de desenvolvimento de cada *pathway* particular, como, por exemplo: desenvolver catalisadores mais seletivos para converter álcoois de maneira mais eficiente em combustível de aviação; melhorar a eficiência da conversão de açúcares em hidrocarbonetos; desenvolver micróbios mais resistentes à contaminação por gás de síntese produzido por gaseificação; avançar na separação de resíduo urbano e melhorar a fermentação da fração orgânica; reduzir o custo da hidrólise enzimática para produzir açúcares fermentáveis ou etanol; superar a fase de unidades de demonstração e alcançar unidades comerciais para de todos os *pathways*.

A principal lacuna comercial para os *pathways* que passam por açúcares ou etanol é que o preço de mercado desses produtos intermediários é alto em razão dos usos possíveis como alimento ou combustível rodoviário. Por conta da grande experiência brasileira na produção de açúcar e etanol de cana-de-açúcar e da existência de um setor agroindustrial bem estabelecido dedicado a esse campo, o preço de referência natural para os biocombustíveis líquidos será o do etanol. Em termos energéticos, o consumo atual de etanol no Brasil como biocombustível rodoviário é mais de uma vez e meia o consumo todo de combustível de aviação (ANP, 2012). Novamente, é preciso estabelecer um programa governamental para tratar os biocombustíveis brasileiros de maneira integrada para evitar a competição por matérias-primas entre biocombustíveis para a aviação e rodoviários.

A principal matéria-prima para o *pathway* termoquímico é a lignocelulose, que está disponível em quantidades suficientes para substituir todos os combustíveis líquidos convencionais. Já existe um *pathway* aprovado pela ASTM empregando essa rota para produzir biocombustível para aviação usando o processo Fischer-Tropsch. A origem do material lignocelulósico pode ser bagaço de cana-de-açúcar, madeira ou resíduos florestais.

Embora o custo do material bruto no campo possa ser muito baixo, o custo do transporte é importante e limita o tamanho da planta de processamento, com grandes implicações no custo do investimento. Outra rota possível usando biomassa lignocelulósica é começar com pirólise, obtendo bio-óleo e biocarvão, produtos intermediários que poderiam ser transportados economicamente para distâncias mais longas, para serem então submetidos à gaseificação e síntese pelo processo Fischer-Tropsch. O custo do processo ainda é considerado alto em razão das condições muito especiais requeridas pelas reações (alta temperatura e pressão), exigindo reatores grandes para reduzir o custo.

A principal lacuna de desenvolvimento nesse *pathway* são os processos de gaseificação e limpeza do gás que não foram projetados para a biomassa brasileira disponível.

Um *pathway* alternativo promissor à Fischer-Tropsch, e que vem sendo investigado principalmente fora do Brasil, é obter um bio-óleo por pirólise rápida ou liquefação por solvente, que poderia ser processado em uma refinaria existente, reduzindo os custos do produto final.

A transformação do bio-óleo em biocombustível para aviação é feita por processos de desoxigenação. A principal lacuna de P&D neste caso é que a hidrodessoxigenação de bio-óleos requer condições extremas de temperatura e pressão, com catalisadores específicos e hidrogênio caro.

## 7. Conclusões e Recomendações

O *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil* propôs e implementou uma experiência enriquecedora envolvendo *stakeholders* importantes de diferentes setores da sociedade brasileira: setor governamental, agricultura, indústria da aviação, agências reguladoras, ONGs, universidades e instituições de pesquisa. O *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil* revelou-se um esforço criativo endógeno, uma contribuição brasileira para um setor de aviação sustentável.

As conclusões seguintes e ações correspondentes foram traçadas a partir das diversas atividades do *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil*. Elas podem ser agrupadas como:

### Por que Brasil?

A experiência brasileira pregressa em matérias-primas para uma produção moderna e sustentável de biocombustíveis mostrou a importância fundamental da operação em larga escala para a competitividade econômica com combustíveis fósseis. O Brasil acumulou experiência técnica em agricultura e indústria, capacidade institucional e grande aceitação popular. Isso faz do País um ambiente propício para começar a nova indústria mundial de biocombustível para aviação.

A criação do programa brasileiro do etanol, em 1975, não só ajudou o País a reduzir sua dependência de combustíveis fósseis, como também contribuiu para modernizar a agricultura brasileira. Desde 1975, o Brasil se tornou um exportador líquido de produtos agrícolas, incluindo grãos, carne e outros produtos. O Brasil é um dos melhores exemplos mundiais do potencial de conciliar a produção sustentável de biocombustível com a segurança alimentar.

A atual produção de bioenergia no Brasil é muito maior, em termos energéticos, do que o consumo de combustível de aviação no País, fato que compeliará o biocombustível de aviação a se conformar aos preços das matérias-primas já estabelecidos no mercado.

O Brasil utiliza somente 7% de sua terra para agricultura (60 milhões de hectares, de um total de 850 milhões de hectares), muito abaixo de nações industrializadas como os 15% dos EUA e 30-40% da maioria dos países europeus. O relatório conclui que o País possui terras disponíveis abundantes para bioenergia mediante o aumento da produtividade das terras agrícolas existentes, que poderia ser um exemplo para o mundo se o uso da terra for otimizado dessa maneira.

## Objetivos da indústria da aviação

A indústria da aviação brasileira, incluindo a Embraer, as principais companhias aéreas brasileiras, a BR Aviation e todas as agências reguladoras e instituições afins envolvidas, demonstraram um profundo compromisso com a introdução de biocombustíveis para aviação no Brasil. O transporte aéreo é indispensável à vida moderna, por isso um suprimento estável e seguro de biocombustível para aviação a um custo competitivo é crucial para a indústria de aviação crescer de uma maneira ambientalmente sustentável, cumprindo as metas de redução das emissões de carbono do setor.

O processamento de biocombustível para a aviação possivelmente terá de ser integrado, no mínimo, ao de biocombustíveis líquidos para os transportes rodoviário, ferroviário e hidroviário, para ser competitivo em termos econômicos com os combustíveis fósseis. Escala e cadeia de otimização são cruciais para o negócio do combustível porque o custo do biocombustível para aviação “drop-in” é maior que o de biocombustíveis rodoviários.

Apesar de caro, o processo de certificação da ASTM e o conceito “drop-in” a ele associado reduzem barreiras à introdução de biocombustíveis para aviação e devem ser levados estritamente em conta.

## Que matérias-primas usar no Brasil?

Não há nenhuma matéria-prima isolada perfeita para produzir um biocombustível para aviação no Brasil. Os *stakeholders* concordam em que o trabalho deve continuar considerando várias matérias-primas para garantir a maior probabilidade de uma disponibilidade adequada e a obtenção de escala.

Há uma diversidade de matérias-primas disponíveis para diferentes condições de cultivo. O eucalipto pode usar terras com grandes declives. A cana-de-açúcar cresce em zonas tropicais e subtropicais enquanto outras culturas são adequadas para latitudes diferentes, como a palma no sul do Estado do Pará, plantas oleaginosas e amiláceas que podem ser cultivadas na maior parte do Brasil – estas incluem culturas não alimentícias como camelina e pinhão manso – e outras matérias-primas com futuros promissores, se houver um maior esforço de P&D.

A experiência passada do Brasil com biocombustíveis também mostra que espécies que podem suprir matérias-primas para aplicações diversas, por exemplo, para alimentos, combustível, polpa celulósica, etc, têm chance maior de sucesso.

Só para demonstrar como a produtividade agrícola é importante, o bioetanol de cana-de-açúcar usa somente 5% do território brasileiro e representa aproximadamente 35% de todos os combustíveis usados em veículos leves no Brasil, além da produção de bioeletricidade. A contribuição total da cana-de-açúcar para a energia primária usada no Brasil é quase a metade da do petróleo. Ao usar etanol e açúcar de cana para produzir biocombustível para aviação, menos de 0,3% do território brasileiro seria necessário para substituir todo o combustível de aviação atualmente usado no Brasil.

Considerando o horizonte de 2020, as fontes de bioenergia mais produtivas dos pontos de vista de rendimento agrícola e balanço energético são a cana-de-açúcar e as florestas plantadas (eucalipto e pinus). Estas seriam as opções preferidas para biocombustíveis de aviação se esse fosse o critério final. Mas o problema é muito mais complexo, e a otimização dos amplos recursos fundiários do país pode contemplar também outras culturas.

Propõe-se, então, a seguinte metodologia para avaliar a substituição de matérias-primas:

Para cada matéria-prima promissora (para aplicações diversas ou somente para biocombustível) e processo de refino aplicável, deve-se escolher o melhor local identificado para a produção de matéria-prima suficiente para substituir, por exemplo, 2% do consumo de combustível de aviação, e analisar, para essa situação especial, os efeitos de produzir matéria-prima para biocombustível na agricultura local e sua sustentabilidade para as próximas gerações. As questões seguintes devem ser atendidas para a substituição ser válida:

- a. avaliar os benefícios econômicos da agricultura atual do local específico e compará-los com os benefícios que seriam obtidos se uma nova matéria-prima (ainda que só para energia) fosse cultivada ali. Considerar os preços nas próximas uma ou duas décadas, levando em conta o preço máximo da matéria-prima compatível com um preço da energia de biocombustível igual ao preço do combustível convencional. Eventual valorização do preço da terra e um aumento do preço dos alimentos resultantes diretamente da implementação devem ser considerados como benefícios. Os resultados precisam ser favoráveis à matéria-prima para a produção de biocombustível; e
- b. avaliar os impactos sociais e ambientais na região, incluindo pequenas propriedades e agricultura familiar, e comparar os indicadores de sustentabilidade com os da ocupação real. Os resultados precisam ser favoráveis à matéria-prima para a produção de biocombustível.

É importante também enfatizar que resíduos industriais e resíduos sólidos urbanos representam um grande potencial no Brasil e, portanto, devem ser seriamente considerados para a produção de biocombustíveis.

#### Quais são os *pathways* identificados?

Considerando o *pathway* como uma combinação entre uma dada matéria-prima e uma tecnologia de refino, 13 *pathways* foram identificados no *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil*.

Evidentemente, há muitas combinações de matérias-primas e tecnologia de refino que podem ser alternativas viáveis à produção de biocombustível de aviação no médio prazo.

Dado que nenhuma solução única pôde ser selecionada, o *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil* recomendou as alternativas mais promissoras e sustentáveis para implementar mais esforços de P&D.

As possibilidades promissoras no curto prazo incluem o uso de sacarose de etanol de cana-de-açúcar, que pode se beneficiar dos baixos custos de produção e dos bons indicadores de sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar no Brasil. Entretanto, no médio e no longo prazo, tudo indica que as matérias-primas celulósicas, como os produtos derivados de madeira e palha, além do bagaço de cana, terão melhores possibilidades competitivas em razão de seus altos valores de sustentabilidade. Várias outras matérias-primas podem ter um potencial no médio e no longo prazo para uma produção economicamente viável.

#### Quais são os impactos? O que dizer das questões de sustentabilidade?

As razões básicas para o crescente aumento do interesse global por biocombustíveis para a aviação são: reduzir os custos voláteis da energia fóssil, melhorar a segurança energética e mitigar as

emissões de GEE. Embora sejam correlacionadas, essas razões são limitadas pela necessidade de encorajar biocombustíveis para a aviação que sejam, num contexto pleno, sustentáveis e capazes de acompanhar um percurso de aprimoramento contínuo na direção da sustentabilidade.

As características mais cruciais do bicomcombustível para aviação são o potencial para mitigar as emissões de GEE e a possibilidade de serem produzidos a custos competitivos. As alternativas que oferecem custos baixos e emissões altas ou emissões baixas e custos altos, não são consideradas, estritamente falando, soluções sustentáveis, ainda que algumas externalidades positivas pudessem justificar sua aceitação.

Outra constatação importante do *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil* foi a dificuldade de acessar dados confiáveis sobre a Análise de Ciclo de Vida (LCA) e custos de produção para os diferentes *pathways* analisados nas condições brasileiras. Considerou-se fundamental a necessidade de mais P&D para superar as lacunas identificadas (*ver Tabela 2 na página 50*).

No contexto brasileiro de grandes oportunidades para aumentar a produtividade das terras agrícolas existentes, a produção de biocombustível pode ser acelerada sem colocar em risco a segurança alimentar, desde que políticas relevantes sejam implementadas, conforme discutido na seção Indicadores de Sustentabilidade.

A questão real é como melhorar a sustentabilidade da agricultura em geral, o que requer recursos econômicos para promover a necessária mudança cultural do agricultor. Isso pode ser conseguido com o aprimoramento da agricultura por meio da transferência de recursos econômicos transferidos de áreas urbanas, por exemplo, para pagar matérias-primas para biocombustíveis.

As questões sociais e ambientais não devem ser tratadas estaticamente. Da mesma forma que a curva de aprendizado necessária para o custo de produção, o desempenho social e ambiental deve ser melhorado no longo prazo para construir uma indústria de biocombustível sustentável. Não só a sustentabilidade é um processo dinâmico, mas seus critérios também dependem dos contextos nacional e regional. Conquanto seja positivo que os critérios de sustentabilidade sejam definidos globalmente, como os países têm requisitos sociais e ambientais diferentes, eles sempre requererão interpretações nacionais.

Como a aviação é, em grande parte, um negócio internacional, é muito importante utilizar critérios de sustentabilidade que sejam aceitos internacionalmente, como os da Roundtable on Sustainable Biofuels e Bonsucro.

Para preencher lacunas sociais e ambientais, as instituições brasileiras precisam identificar maneiras práticas de usar a oportunidade de produzir matérias-primas para energia para promover a cultura de sustentabilidade na agricultura brasileira como um todo. De mais a mais, é reconhecido que iniciativas de pesquisa são fundamentais para melhorar o desempenho de indicadores de sustentabilidade mediante o desenvolvimento de tecnologias apropriadas, tanto para baixar os custos de produção da matéria-prima como para reduzir impactos indesejados.

#### Que esforços de P&D são necessários?

A P&D é um elemento fundamental para tornar possível e sustentável um dado *pathway*. O Brasil dedicou esforços consideráveis de P&D que permitiram que a cana-de-açúcar e o eucalipto se tornassem culturas competitivas para biocombustíveis. Contudo, muito ainda é necessário para a competitividade de outras culturas e definições de novos *pathways*.

Entre os *pathways* de produção, embora os processos de Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados (HEFA) e de Querosene Parafínica Sintética por Fischer-Tropsch (SPK FT) já tenham recebido aprovações da ASTM para o uso em combustíveis de aviação, alternativas baseadas em matéria-prima açúcar/lignocelulósica, rotas como Álcoois para Combustível de Aviação (ATJ) e alguns processos avançados de base biológica (Querosene Sintética de Processo Metabólico), todos ainda em fase piloto, também oferecem um bom potencial. Um programa de P&D apropriadamente planejado de biocombustível para a aviação é necessário para classificar os diversos *pathways* de matérias-primas e processos que devem ser avaliados principalmente quanto à competitividade econômica prospectiva, LCA e impactos ambientais e sociais.

**Lacunas tecnológicas e ações** – melhorar a produtividade agrícola de matérias-primas identificadas e pesquisar novas; melhorar a eficiência energética de tecnologias de processamento e desenvolver novos processos; estudar as melhores localizações e incentivar implantações de plantas de demonstração e comerciais para os primeiros *pathways* identificados visando a produção de biocombustíveis de aviação e; estender a competência instalada para testar e certificar biocombustível para aviação para todo o País.

**Que ações de infraestrutura são necessárias no Brasil para permitir uma logística adequada para matérias-primas e biocombustíveis?**

O Brasil tem gargalos importantes em logística e necessidades para o transporte tanto de matérias-primas como de biocombustível para superar as barreiras e ajudar a fazer um biocombustível competitivo. Embora eles requeiram atenção, a combinação de questões de logística com questões específicas de regulamentação parece estar apropriadamente delineada pela revisão da Resolução 37/2009 da ANP e, em razão do conceito “drop-in”, não representa obstáculos intransponíveis aos biocombustíveis de aviação. Entretanto, investimentos explícitos serão necessários em instalações de armazenamento e mistura.

O consumo de combustível de aviação é especialmente concentrado na Região Sudeste do País, mas em geral em cidades não distantes do litoral. Por outro lado, há terras agrícolas abundantes e baratas disponíveis no interior do país, longe dos centros de consumo (distâncias maiores do que 1.000-2.000 quilômetros). Portanto, o aprimoramento da logística de matérias-primas e de biocombustível de aviação é uma necessidade significativa para a competitividade econômica dos vários *pathways* para a produção de biocombustível de aviação. Por outro lado, a diversidade de matérias-primas disponíveis e de locais de consumo em diferentes regiões do País pode impulsionar a materialização de soluções de nicho aproveitando as longas distâncias e alto custo logístico, dependendo da competência instalada para testar e certificar biocombustíveis de aviação.

**Lacunas econômicas e ações** – desenvolver estudos logísticos para o investimento em ferrovias e hidrovias levando em conta matérias-primas para biocombustíveis em geral e combustível para aviação especificamente; assegurar que as vantagens de custos dos produtos agrícolas brasileiros em mercados internacionais se reflita na produção de biocombustíveis para a aviação, como em outros biocombustíveis; tomar medidas para assegurar que a diferença de custo do biocombustível para a aviação para o combustível convencional no Brasil seja menor que em outros países, para que a possível exportação de biocombustível de aviação via voos internacionais possa elevar a competitividade da indústria de biocombustíveis para a aviação estabelecida no país.

### O Brasil está pronto para construir a nova indústria de biocombustíveis para a aviação?

Após décadas de uso regular de etanol e de misturas obrigatórias de biodiesel desde 2005, com a ativa participação do governo brasileiro, o Brasil oferece uma real experiência de como introduzir um biocombustível no mercado. Entretanto, a despeito de experiências anteriores com produção e uso de biocombustíveis, há questões institucionais importantes e relevantes no que se refere à construção da nova indústria de biocombustíveis para a aviação.

Nesse cenário, o *Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil* identificou as seguintes questões institucionais como sendo relevantes para o desenvolvimento de biocombustíveis de aviação no contexto brasileiro:

- a. o desenvolvimento da produção de biocombustível para a aviação no Brasil, associado ou não à indústria de biocombustível existente, pode abrir uma nova e inovadora cadeia de bioenergia sustentável, com crescente demanda global. Portanto, ele deve ser considerado estratégico e avaliado não só do ponto de vista imediato, mas levando em conta também seu potencial para promover benefícios econômicos, ambientais e sociais;
- b. as condições institucionais são decisivas para promover biocombustíveis para a aviação, especialmente com respeito a mecanismos de incentivo e financiamento, impondo políticas públicas bem planejadas e coordenadas. Ações governamentais neste sentido têm sido realizadas no Brasil, mas elas são insuficientes, em especial em termos de uma política energética, para definir o papel esperado para esse combustível renovável no futuro e para essa nova indústria.
- c. ao se adequar aos princípios de “drop-in” e adotar uma especificação mundial implementada com votação regular de *stakeholders*, a ANP está proporcionando um sólido apoio ao desenvolvimento e implementação de biocombustível para a aviação no Brasil, em cooperação com as agências da aviação civil, ANAC e SAC;
- d. é prematuro recomendar metas para a mistura compulsória de biocombustíveis para a aviação no Brasil, mas estudos nessa direção são aconselháveis e devem ser feitos para avaliar as alternativas, suas implicações, custos e benefícios;
- e. há vários mecanismos de financiamento que podem ser direcionados para promover atividades de P&D de biocombustíveis para a aviação e projetos de demonstração;
- f. a produção e uso de biocombustíveis envolve necessariamente vários ministérios (Agricultura, Energia, Meio Ambiente, Ciência, Tecnologia e Inovação, Defesa, etc.) e os biocombustíveis para a aviação com certeza incluem outros grupos de agências e questões. Assim, todas as partes interessadas e tomadores de decisões deveriam ser incluídos na discussão e avaliação de alternativas e metas. Como neste ponto a P&D é a atividade predominante, recomenda-se, ao menos no estágio de identificação de *pathways*, que o papel principal deva ser mantido por agências de ciência e tecnologia nos níveis federal e estadual, em colaboração ativa com todas as partes interessadas para estabelecer parâmetros práticos e identificar necessidades que façam avançar a P&D para uma implementação efetiva.

### Quais são as principais políticas e ações necessárias para implementar uma nova indústria de biocombustíveis para aviação no Brasil?

Políticas públicas são fundamentais para desenvolver a tecnologia agroindustrial para biocombustíveis para a aviação, bem como implementar medidas financeiras e regulatórias capazes de sustentar a produção e o uso de biocombustíveis para a aviação. Nesse contexto, a maneira de repartir os custos e benefícios da adoção de biocombustível para a aviação deve ser analisada e discutida.

Apresentando simultaneamente condições favoráveis para promover a produção de biocombustíveis, uma larga experiência com biocombustíveis automotivos e uma indústria de aviação ativa, o Brasil está excepcionalmente bem posicionado para montar um programa de biocombustíveis para a aviação com metas e mecanismos de sustentação claros e participação de todos os *stakeholders*. É importante recomendar políticas para apoiar a implantação de novos *pathways*, por exemplo, novas empresas formadas nesse processo. Hoje faltam tais políticas no Brasil.

Políticas de biocombustíveis de longo prazo, que integrem combustíveis para todos os modos de transporte motorizado e reconheçam a necessidade particular da aviação por combustíveis sustentáveis alternativos, precisam ser estabelecidas para tornar o biocombustível para a aviação economicamente viável em razão do custo extra de produzir um combustível “drop-in”.

#### Lacunas institucionais e ações

- a. preparar o conjunto de regulamentações brasileiras de combustíveis para a aviação de modo a aceitar os biocombustíveis segundo normas da ASTM;
- b. estabelecer os locais de “drop-in” o mais próximo possível na cadeia de distribuição, sem comprometer a qualidade do combustível e os requisitos de certificação técnica do setor de aviação<sup>4</sup>;
- c. estabelecer mecanismos legais para assegurar que os incentivos para biocombustíveis para a aviação só estejam disponíveis quando demonstrado que eles obedecem plenamente as leis e regulamentos nacionais, em especial as salvaguardas ambientais e sociais, proteções de florestas naturais e outros habitats, zoneamento de uso da terra e proteções ao trabalhador;
- d. observar estritamente e antecipar ações regulatórias da ICAO de modo a tirar vantagem de regulamentações internacionais para promover a indústria de biocombustível de aviação no Brasil;
- e. estabelecer um programa governamental de longo prazo para o uso integrado de biocombustíveis em todos os modos de transporte do País para neutralizar a diferença de custo de produção de um combustível “drop-in” versus produtos para motores para biocombustível, como é o caso do transporte rodoviário.

A Tabela 2 apresenta uma lista preliminar de fatores limitadores e de recomendações de políticas para o desenvolvimento de biocombustíveis de aviação para responder a essas questões, levando em consideração o contexto brasileiro. Uma reflexão e discussão mais profunda sobre essas perspectivas, envolvendo os *stakeholders*, serão necessárias. Entretanto, outras recomendações relevantes e mais específicas foram tratadas e detalhadas em todos os workshops do *Projeto Biocombustíveis de Aviação no Brasil*.

Para concluir, a substituição de combustíveis fósseis de aviação representa uma oportunidade muito importante para os biocombustíveis sustentáveis e o Brasil tem uma excelente posição comparativa nesta área para se tornar um *player* global. Há desafios importantes a serem superados para criar a base para esta nova indústria emergente e o Brasil não pode perder essa oportunidade.

<sup>4</sup> Para se beneficiar da logística das matérias-primas produzidas perto de aeroportos remotos será necessário desenvolver competências adicionais de pessoal e laboratório para cumprir os requisitos de segurança da aviação.

Questão	Fatores limitadores		
	Atual	Futuro	Relevância/ Prioridade
<b>Matéria-prima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informação limitada sobre matérias-primas com potencial para bioenergia;</li> <li>• Informação limitada sobre zoneamento da terra para bioenergia;</li> <li>• Altos custos para os produtores cumprirem a legislação ambiental e regulamentações sociais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risco de limitações no suprimento de recursos naturais (água, químicos, etc.) para uma produção de biomassa eficiente;</li> <li>• Riscos da expansão da produção de biocombustíveis com alto impacto nas mudanças no uso da terra.</li> </ul>	Média/Alta
<b>Refino</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de informação sobre viabilidade do processo, risco de alta tecnologia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risco tecnológico associado ao desenvolvimento de processos inovadores.</li> </ul>	Alta
<b>Logística</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitações infraestruturais.</li> </ul>		Alta
<b>Sustentabilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de aplicação bem-sucedida da legislação social e ambiental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteger trabalhadores, e evitar a perda potencial dos principais recursos naturais do Brasil.</li> </ul>	Alta
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de monitorar o desempenho de biocombustíveis para a aviação segundo normas ambientais e sociais internacionais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar barreiras para a produção de biocombustíveis para a aviação no Brasil.</li> </ul>	Alta
<b>Geral</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de coordenação entre agências governamentais e partes interessadas na promoção de biocombustíveis para a aviação;</li> <li>• Falta de informação sobre biocombustíveis para a aviação entre tomadores de decisões e o público.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heterogeneidade e falta de clareza na avaliação de sustentabilidade de biocombustíveis.</li> </ul>	Alta

**Tabela 2:** Fatores limitadores e recomendações políticas para o desenvolvimento de Biocombustíveis para a Aviação

<b>Recomendações políticas</b>			
<b>Imediata/ Curto prazo</b>	<b>Médio Prazo (2020)</b>	<b>Longo Prazo (2050)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover o desenvolvimento de recursos humanos;</li> <li>• Promover estudos LCA de matérias-primas com potencial bioenergético;</li> <li>• Avaliar as lacunas e mecanismos para permitir a regularização da situação dos produtores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover estudos agronômicos avançados sobre culturas bioenergéticas;</li> <li>• Desenvolver avaliação da disponibilidade e coleta de resíduos;</li> <li>• Promover o aumento dos rendimentos acima das tendências.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover estudos sobre fontes alternativas de biomassa para bioenergia.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover o desenvolvimento de recursos humanos;</li> <li>• Apoio (financiamento) a plantas piloto e de demonstração.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoio (financeiro/regulatório) a programas de demonstração e uso comercial de biocombustível para a aviação.</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar necessidades de regiões com potencial para a produção de biocombustível.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover melhorias de logística;</li> <li>• Avaliar novos esquemas produtivos, reduzindo o transporte de biomassa a granel.</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabelecer mecanismos legais para garantir que incentivos a biocombustíveis para a aviação só estejam disponíveis onde se demonstre que as leis e regulamentos nacionais, especialmente as proteções a florestas naturais e a outros habitats, são plenamente implementadas.</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consolidar o processo de certificação de sustentabilidade.</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesquisa e incentivos somente a sistemas de matérias-primas que aumentem a produtividade geral de energia e alimento/ração/fibra na mesma terra.</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lançar um programa de biocombustível para aviação com uma agenda clara de ações estratégicas;</li> <li>• Promover campanha de informação sobre potencial, benefícios e implicações de biocombustíveis para a aviação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar e emitir regularmente indicadores do programa de biocombustíveis para a aviação;</li> <li>• Consolidar o processo de certificação de sustentabilidade.</li> </ul>		

## Referências

- ABRABA, Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação. Disponível online em <[www.abraba.com.br](http://www.abraba.com.br)>. Acessado em 2 de setembro de 2012.
- ABRAF, Associação Brasileira dos Produtores de Florestas Plantadas Anuário Estatístico 2012 – Ano base 2011. ABRAF, Brasília, 2012. 150p.
- Amyris. Disponível online em <<http://www.amyris.com/News/266/Amyris-Ships-First-Truckload-of-Biofene-from-its-New-Plant-in-Brazil>>. Acessado em fevereiro de 2013
- ANFAVEA, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário da Indústria Automotiva Brasileira - 2012. ANFAVEA, São Paulo, 2012, 153p.
- ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ANP, Brasília, 2012, 250p.
- CAAFI, Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative. Disponível online em <[www.caafi.org](http://www.caafi.org)>. Acessado em 20 de setembro de 2012.
- CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Biocombustíveis Aeronáuticos: progressos e desafios. CGEE, Brasília, 2010.
- CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Sustentabilidade da Bioenergia de Cana-de-açúcar. CGEE, Brasília, 2012, 360p.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Indicadores da Agropecuária – Dezembro e Novembro – 2012, Ano XXI n. 11 e 12. CONAB, Brasília, 2012, 53p.
- CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. *Flight path to Sustainable Aviation*. CSIRO, Sydney, 2011, 52p. Disponível online em <<http://www.csiro.au/science/Sustainable-Aviation-Fuels-Road-Map>>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- Ebner, C. Nova política para o combustível de aviação. Jornal O Estado de São Paulo, Caderno de Economia, São Paulo, 8 de agosto de 2012a.
- Ebner, C. *Use of sustainable biofuels for aviation: Perspective 2020* (IATA). Apresentação durante o 5º workshop do Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil, 12 de setembro de 2012, Embrapa, Brasília. Disponível online em <[www.nipeunicamp.org.br/sabb](http://www.nipeunicamp.org.br/sabb)>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- EC, European Commission. *Derogating temporarily from Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community*. European Commission, Estrasburgo, 2012. Disponível online em <[http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation/docs/com\\_2012\\_697\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation/docs/com_2012_697_en.pdf)>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- EC, European Commission. *2 million tons per year: a performing biofuels supply chain for EU aviation*. EC, Resumo de *paper* técnico do Workshop “Achieving 2 million tons of biofuels use in aviation by 2020”, Comissão Europeia, Bruxelas, 2011. Disponível online em <[http://ec.europa.eu/energy/technology/initiatives/doc/20110622\\_biofuels\\_flight\\_path\\_technical\\_paper.pdf](http://ec.europa.eu/energy/technology/initiatives/doc/20110622_biofuels_flight_path_technical_paper.pdf)>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Brasileiro – ano 2011. EPE, Brasília, 2012, 282p.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética, Plano Decenal de Expansão de Energia 2020. EPE, Brasília: MME/EPE, 2011.

- Goldemberg, J. *A Historical account of bioenergy production in Brazil*. Apresentação durante o 1ª BBEST – Conferência Brasileira de Ciência e Tecnologia em Bioenergia. Campos de Jordão, Brasil, agosto, 2011. Disponível online em <[www.bbest.org.br](http://www.bbest.org.br)>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- Goldemberg, J. *The Brazilian biofuels industry*. *Biotechnology for Biofuels*, i.6, 2008.
- Goldemberg, J., Coelho, S.T.; Guardabassi, P. *The Sustainability of ethanol production from sugarcane*. *Energy Policy*, 36(6), 2008, p. 2086-2097.
- Hupe, J. *Agreements and Actions to reduce Aviation Emissions* (Apresentação da ICAO). Apresentação durante o Seminário Internacional de Combustíveis de Aviação – ANP, Rio de Janeiro, abril, 2012. Disponível online em <<http://www.anp.gov.br/?pg=60724>>. Acessado em 16 de fevereiro de 2013.
- IATA, International Air Transport Association. *Global Aviation and the Fuel Costs*, apresentado por Oliveira, L.F., durante o Seminário Internacional de Combustíveis de Aviação – ANP, Rio de Janeiro, April, 2012. Disponível online em <<http://www.anp.gov.br/?pg=60724>>. Acessado em 16 de fevereiro de 2013.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sidra – Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível online em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- ICAO, International Civil Aviation Organization. *ICAO Review: Sustainable Alternative Fuels for Aviation*. ICAO, Québec, Canada, 2011, 56p. Disponível online em <<http://www.icao.int/environmental-protection/Documents/SUSTAF%20Review%5B2%5D.pdf>>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- IEA, International Energy Agency., *Oil Market Report*. IEA, Paris, 2011, 44p. Disponível online em <<http://omrpublic.iaa.org/omrarchive/sup2011.pdf>>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- Macfarlane, R. *Sustainable Aviation Fuels: a global perspective*. Apresentação durante o 1º workshop do Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil, 25 e 26 de abril, FAPESP, São Paulo, Brasil, 2012. Disponível online em <[www.nipeunicamp.org.br/sabb](http://www.nipeunicamp.org.br/sabb)>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- Nassar, A. Apresentação durante o 4º workshop do Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil, 22 de agosto de 2012, FIEMG, Belo Horizonte, Minas Gerais. Disponível online em <[www.nipeunicamp.org.br/sabb](http://www.nipeunicamp.org.br/sabb)>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- Nassar, A.M.; et al. *Simulating Land Use and Agriculture Expansion in Brazil: Food, Energy, Agro-industrial and Environmental Impacts*. Programa BIOEN – FAPESP, Projeto 008/56156-0. p. 16, 2011.
- Nigro, F.E.B. *The Brazilian/São Paulo perspectives for renewable fuels*. Apresentação durante o 1º workshop do Projeto Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil, 25 e 26 de abril, FAPESP, São Paulo, Brasil, 2012. Disponível online em <[www.nipeunicamp.org.br/sabb](http://www.nipeunicamp.org.br/sabb)>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- OAG. *The European Union Emission Trading Scheme*. OAG, Market Intelligence Report, London, 2012.
- Oxford Economics. *Economic Benefits from Air Transport in Brazil*. Oxford Economics, Report to IATA, Oxford, 2011, 28p. Disponível online em <<http://www.benefitsofaviation.aero/Documents/Benefits-of-Aviation-Brazil-2011.pdf>>. Acessado em 28 de janeiro de 2013.
- PETROBRAS, Petróleo Brasileiro S.A. *Plano de Negócios 2011 – 2015*. Petrobras, 2012.
- Rosillo-Calle, F. *Food versus Fuel: Toward a New Paradigm – The Need for a Holistic Approach*. *ISRN Renewable Energy*, v.12, 2012.
- UNICA, União da Indústria de Cana-de-açúcar. *Estatísticas da União da Indústria de Cana-de-açúcar*. UNICAData. São Paulo, 2012.

## Glossário

A	
ABRABA	Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação
ACA	ACA Associates. O novo nome da Airline Capital Associates, Inc. Companhia que opera em consultoria financeira, especializada na indústria da aviação comercial, incluindo fabricantes, empresas aéreas, aeroportos, companhias de suporte após-mercado, e empresas de serviços em terra
AIAB	Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil. Associação de comércio nacional que representa as indústrias aeroespaciais brasileiras
Amyris	Empresa de produtos renováveis integrados que oferece alternativas sustentáveis a um amplo leque de produtos derivados de petróleo
ANAC	Agência Nacional da Aviação Civil
Andritz	Companhia que opera no fornecimento de plantas e serviços para os setores de energia hidrelétrica, polpa celulósica e papel, metais e outras indústrias especializadas
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APTA	Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios Governo do Estado de São Paulo
APTTA	Associação Portuguesa de Transporte e Tráfego Aéreo
ASTM	American Society for Testing and Materials
AZUL	Companhia brasileira de transporte aéreo
B	
Bioeca	Companhia dedicada à produção de matérias-primas não alimentares sustentáveis para biocombustíveis de segunda geração (principalmente bioquerosene de aviação), introdutora da camelina ( <i>Camelina sativa</i> ) e do seu cultivo no Brasil
Byogy Renewables	Companhia que trabalha na produção de biocombustíveis avançados (combustível para aviação e gasolina) a partir de qualquer matéria-prima de bioetanol
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
Boeing	The Boeing Company, uma empresa aeroespacial e de defesa global que fabrica jatos comerciais e sistemas de defesa, espaço e segurança
C	
CAAFI	Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative
CEPID	Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (programa de pesquisa da FAPESP)
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
D	
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
E	
Embraer	Empresa privada brasileira atuando na manufatura e comercialização de aeronaves e sistemas de defesa e segmentos de segurança
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
EMBRAPA BIOENERGY	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro de Bioenergia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPFL	École Polytechnique Fédérale de Lausanne
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Ergostech	Companhia brasileira que trabalha em soluções renováveis de energia
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da USP
ESALQ-LOG	Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial da ESALQ

<b>F</b>	
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FEAGRI	Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP
FEQ	Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP
FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos do MCT
<b>G</b>	
GE/GRC	General Electric Company - Global Research Center
GEE	Gases responsáveis pelo efeito estufa
GOL	Empresa brasileira de transporte aéreo
<b>H</b>	
HEFA	Hidroprocessamento de ésteres e ácidos graxos
HDT	Unidades de Hidrotratamento
<b>I</b>	
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas do Governo do Estado de São Paulo
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço do DCTA
IAPAR	Instituto Agrônomo do Paraná do Governo do Estado do Paraná
IATA	Associação Internacional do Transporte Aéreo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística do Governo Federal
ICAO	Organização Internacional da Aviação Civil
ICONE	Institute for International Trade Negotiations
IFAD	International Fund for Agricultural Development
ILUC	Mudança Indireta do Uso da Terra
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQ	Instituto de Química da UNICAMP
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification System
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica do DCTA
<b>L</b>	
Lanzatech	Empresa privada americana que opera no desenvolvimento e comercialização de tecnologias para a produção de combustíveis com baixo teor de carbono
Life	Life Technologies. LIFE é uma companhia global de biotecnologia que oferece soluções completas de Biologia Sintética para áreas como Biocombustíveis, Biotecnologia Agrícola, Químicos bio-baseados, Enzimas Industriais, Biocontroles, Pesquisa em Ciências da Vida, Fármacos, Vacinas e Anticorpos
LCA	Análise de Ciclo de Vida
LCFS	Low-Carbon Fuel Standard
LUC	Land Use Change (Mudança no Uso da Terra)
<b>M</b>	
Mount Rundle	Mount Rundle Financial. Companhia que investe em serviços de consultoria, com ênfase no Brasil e na América Latina
<b>N</b>	
Neste Oil	Companhia finlandesa de refino e comercialização de petróleo que produz principalmente combustíveis de transporte e outros derivados de petróleo
NIPE	Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da UNICAMP
ONG	Organização Não-Governamental
NWF	National Wildlife Federation. Organização sem fins lucrativos que trabalha na proteção da vida selvagem e na preservação de habitats
<b>O</b>	
Oleoplan	Companhia que opera na produção de óleos vegetais, principalmente óleo de soja

<b>P</b>	
PETROBRAS	Companhia brasileira de petróleo
P&G	Procter & Gamble
<b>R</b>	
RED	Rewable Energy Directive. A RED foi implementada pela Diretoria Geral de Energia da Comissão Europeia e apresenta um conjunto de mandatos relativos ao uso de energia renovável na União Europeia
RFS2	Rewable Fuel Standard. O Programa RFS foi criado no âmbito da Energy Policy Act (EPA) em 2005 e desenvolvido em colaboração com refinarias, produtores de combustíveis renováveis e alguns outros <i>stakeholders</i> , e estabeleceu o primeiro mandato sobre o volume de mistura de combustíveis renováveis nos Estados Unidos. Em 2007 o programa foi expandido e hoje as leis do RFS2 estabelecem as bases para alcançar reduções significativas das emissões de gases de efeito estufa através do uso de combustíveis renováveis e incentivar o desenvolvimento e expansão do setor de combustíveis renováveis nos Estados Unidos
RSB	Roundtable on Sustainable Biomaterials. Uma iniciativa internacional com diversas partes interessadas que reúne fazendeiros, companhias, organizações não-governamentais, especialistas, governos e agências internacionais preocupados em assegurar a sustentabilidade na produção e processamento de biocombustíveis
<b>S</b>	
SAC	Secretaria da Aviação Civil da ANAC.
SAFUG	Sustainable Aviation Biofuel User Group
SG Biofuel	Companhia de bioenergia que desenvolve e fornece soluções bioenergéticas de alto desempenho para os mercados de combustíveis renováveis, biomassa e químico
SINDICOM	Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes
Solazyme	Companhia de biotecnologia industrial que utiliza instalações de fermentação para produzir óleos e bioprodutos a partir de microalgas
SWAFEA	Sustainable Way for Alternative Fuels and Energy for Aviation
<b>T</b>	
TERRABON	Companhia privada americana que opera no desenvolvimento e utilização de tecnologias inovadoras e de baixo custo para a conversão de biomassa
<b>U</b>	
UNICA	União da Indústria de Cana-de-açúcar
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
UOP	Uma companhia da Honeywell que trabalha no desenvolvimento de tecnologias e de soluções para o refino de petróleo, processamento de gás, produção de petroquímicos e outras indústrias manufatureiras
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency. Agência do Governo Federal dos Estados Unidos criada com o propósito de proteger a saúde humana e o meio ambiente. Dentre outras, é responsável pela regulação da venda de combustíveis para transporte nos Estados Unidos, visando assegurar que o volume mínimo de mistura de combustível renovável esta sendo praticado
USP	Universidade de São Paulo
<b>W</b>	
Weyerhaeuser	Companhia que opera na produção de polpa e papel.
WWF	World Wildlife Found. Principal organização internacional sem fins lucrativos na conservação da vida selvagem e proteção de espécies ameaçadas
<b>0 – 9</b>	
4 CDM	4 Cantos do Mundo (ONG brasileira)



