



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS**



GABRIEL SPAGNUOLO VINCI

**BIOCOMBUSTÍVEIS PARA AVIAÇÃO:**

Distribuição geográfica e esforços em pesquisa e desenvolvimento.

Limeira  
2016



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS



GABRIEL SPAGNUOLO VINCI

## **BIOCOMBUSTÍVEIS PARA AVIAÇÃO:**

Distribuição geográfica e esforços em pesquisa e desenvolvimento.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Gestão do Agronegócio à Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Maria Ester Soares Dal Poz

Limeira  
2016

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Faculdade de Ciências Aplicadas  
Renata Eleuterio da Silva - CRB 8/9281

V746b Vinci, Gabriel Spagnuolo, 1988-  
Biocombustíveis para aviação : distribuição geográfica e esforços em pesquisa e desenvolvimento / Gabriel Spagnuolo Vinci. – Limeira, SP : [s.n.], 2016.

Orientador: Maria Ester Soares Dal Poz.  
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas.

1. Biocombustíveis. 2. Aviação. 3. Pesquisa e desenvolvimento. 4. Tecnologia. 5. Inovação. I. Dal Poz, Maria Ester Soares, 1956-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. III. Título.

Informações adicionais, complementares

**Titulação:** Bacharel em Gestão do Agronegócio

**Data de entrega do trabalho definitivo:** 03-12-2016

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente a toda minha família que ao longo de todos estes anos me apoiou e possibilitou que eu chegasse ao final desta graduação. Amo todos vocês.

À minha orientadora professora Dra. Ester Dal Poz pelas diversas horas de acompanhamento, dedicação e suporte para que este trabalho pudesse ser realizado e finalizado.

E finalmente a todos os docentes e funcionários da FCA pelas horas dedicadas de trabalho e todo conhecimento compartilhado. Muito obrigado a todos.

VINCI, Gabriel Spagnuolo. Biocombustíveis na aviação: Distribuição geográfica e esforços em pesquisa e desenvolvimento). 2016. nºf. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Gestão do Agronegócio – Faculdade de Ciências Aplicadas. Universidade Estadual de Campinas. Limeira, 2016.

## RESUMO

Diante da crescente necessidade de diminuição da emissão dos gases poluentes na atmosfera, os biocombustíveis se apresentam como uma promissora opção para enfrentar este desafio ambiental. O presente trabalho coloca foco no mercado de biocombustíveis para aviação uma vez que este setor é hoje um grande agente poluidor. Para isso, foram analisados: a) os esforços das principais empresas no mercado que investem em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), b) a localização geográfica destas empresas e c) o nível de maturidade tecnológica das diferentes tecnologias candidatas à difusão de biocombustíveis para aviação, utilizando-se, para tal, a *proxy* de nível de certificação das mesmas. A certificação é um importante fator regulatório que compõem a análise do nível de prontidão dos biocombustíveis a serem utilizados pela aviação civil. Tal aspecto, aliado aos níveis de investimento das empresas, permitem gerar um panorama bastante útil para a tomada de decisão acerca deste mercado de energias limpas. Neste contexto, este trabalho possibilita uma análise acerca das relações entre esforços de P&D e a geopolítica das empresas interessadas neste mercado.

**Palavras-chave:** biocombustíveis, aviação, pesquisa e desenvolvimento, tecnologia, inovação,

VINCI, Gabriel Spagnuolo. Título: Biofuel for aviation: Geographic distribution and efforts in research and development, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Gestão do agronegócio – Faculdade de Ciências Aplicadas. Universidade Estadual de Campinas. Limeira, 2016.

### **ABSTRACT**

Given the increasing need to reduce the emission of greenhouse gases in the atmosphere, biofuels are presented as a promising option to address this environmental challenge. This paper focus on the biofuels market for aviation since this sector is now a major polluter. Considering this, the present study analyzed: a) the efforts of the leading companies in the market that invest in Research and Development (R&D), b) the geographical location of these companies and c) the level of technological maturity of the various candidate technologies in the aviation biofuels' market, using for such certification level proxy as a tool of analyze. The Certification is an important regulatory factor that makes up the analysis of the level of readiness of biofuels to be used by civil aviation. This aspect, combined with corporate investment levels, can generate a panorama useful for decision-making about this energies market clean. In this context, this work leads to an analysis of the relations between R&D efforts and the geopolitics of the companies interested in this market.

**Keywords:** biofuel, aviation, research and development, technology, innovation

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Road Map dos principais processos estudados por Cortez (2013).....	24
Figura 2	Localização das empresas que desenvolvem trabalhos com o ATJ, HDCJ e FT.....	37
Figura 3	Localização das empresas que desenvolvem trabalhos com o DSHC e HEFA.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise dos pontos estudados dos processos produtivos. Adaptado de GAMARRA (2015).....	36
Tabela 2	As duas tecnologias mais maduras e as empresas que as Desenvolvem.....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>P&amp;D</b>	Pesquisa e Desenvolvimento
<b>R&amp;D</b>	Research and Development
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>IATA</b>	International Air Transport Association
<b>ATAG</b>	Air Transport Action Group
<b>ANAC</b>	Agência Nacional de Aviação
<b>TRL</b>	Technological Readness Level
<b>CAAFI</b>	Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative
<b>FRL</b>	Fuel Readiness Level
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>FT-SPK</b>	Fischer-tropsch
<b>HEFA</b>	Hydroprocessed Esters and Fatty Acids
<b>DSHC</b>	Direct Sugar to Hydro Carbons
<b>HDCJ</b>	Hydrotreated depolymerized cellulosic jet
<b>ATJ</b>	Alcohol to Jet
<b>GTL</b>	Gas-to-Liquids
<b>CTL</b>	Coal-to-Liquid
<b>IBGLT</b>	Integrated Biomass-Gas to Liquid
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVO .....	13
3	PROBLEMATIZAÇÃO .....	15
4	JUSTIFICATIVA .....	16
5	METODOLOGIA .....	17
6	DESENVOLVIMENTO .....	21
6.1	- CENÁRIOS DE DEMANDAS POR ENERGIAS LIMPAS .....	21
6.2	AS PRINCIPAIS MOLÉCULAS E ESFORÇOS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO..	22
6.2.1	FISCHER-TROPSCH (FT-SPK) .....	24
6.2.2	ÉSTERES HIDROPROCESSADOS E ÁCIDOS GRAXOS (HEFA) .....	26
6.2.3	AÇÚCAR DIRETO AO HIDROCARBONETO (DSHC).....	27
6.2.4	ÁLCOOL PARA AVIÕES (ATJ) .....	27
6.2.5	CELULÓSICO DESPOLIMERIZADO HIDROTRATADO PARA AVIÃO (HDCJ) .....	28
6.3	- ESFORÇOS EM P&D E CERTIFICAÇÃO DAS EMPRESAS DE MAIOR IMPORTÂNCIA NO MERCADO SEGUNDO ROAD MAP DE CORTEZ.....	29
6.3.1	- FISCHER-TROPSCH (FT-SPK) .....	30
6.3.2	- ÉSTERES HIDROPROCESSADOS E ÁCIDOS GRAXOS (HEFA) .....	31
6.3.3	- ÁLCOOL PARA AVIÕES (ATJ) .....	32
6.3.4	- CELULÓSICO DESPOLIMERIZADO HIDROTRATADO PARA AVIÃO (HDCJ) .....	33
6.3.5	- AÇÚCAR DIRETO AO HIDROCARBONETO (DSHC) .....	34
6.4	- ANÁLISE DAS MOLÉCULAS: RELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE P&D E CERTIFICAÇÃO COM A LOCALIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS EMPRESAS .....	34
7	CONCLUSÃO .....	39
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

Dadas as atuais condições globais de mudança climática atribuída ao uso de combustíveis fósseis, são notórios os esforços realizados por empresas e iniciativas governamentais para alcançar um novo patamar de sustentabilidade e de forma menos poluente. Este tipo de atuação pode ser considerado não somente como uma forma de se obter vantagens competitivas, mas também como necessidade de atendimento de algumas exigências legislativas que visam o controle do aquecimento global e de outros efeitos deletérios das condições climáticas mundiais (NYGREN, 2009). Com isso, o investimento em novas tecnologias e alternativas de gestão se fazem necessárias para que as empresas alcancem estes objetivos e atendam às exigências legislativas e metas ambientais.

Atualmente, o discurso de sustentabilidade e formas de minimizar os impactos causados pela ação do homem na natureza através de suas atividades cotidianas é amplamente discutido e estudado. Segundo Colleti, (2005), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o principal gás responsável pelo efeito estufa, fenômeno que gera grandes impactos negativos no meio ambiente como aumento das temperaturas médias e níveis de gases nocivos à saúde. Ainda segundo autor, uma grande parte de toda quantidade produzida de CO<sub>2</sub> é originado principalmente como resultado do processo de queima dos combustíveis fósseis produzidos por veículos automotores como carros e aviões.

Diante dos atuais desafios para redução de emissão de gases poluentes o presente trabalho analisa os esforços de empresas localizadas em diferentes países no desenvolvimento de opções de combustíveis de origem não-fóssil que se apresentam como opção frente a este desafio ambiental.

Este trabalho, então, analisa diferentes tecnologias em fase de desenvolvimento tecnológico, apontando as principais empresas que investem em pesquisas neste segmento e também os mais próximos da utilização em larga escala no mercado da aviação, considerando os níveis de certificação e prontidão as diferentes tecnologias. As empresas foram selecionadas a partir de um levantamento da base de patentes “*United States Patent and Trademark Office*”, representando assim esforços em inovação e desenvolvimento no setor. Ainda, será possível obter algumas hipóteses de ações e características do segmento de combustíveis renováveis no mundo e onde as empresas atuam neste mercado.



## 2 OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo explorar os cenários empresariais globais em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e inovação de tais produtos, por meio dos processos e esforços de certificação das tecnologias desenvolvidas, na grande área da produção de energia limpa, para o setor da aviação.

Um fator central da P&D deste setor de energias limpas, e, em especial, de sua adoção e difusão pelos mercados da aviação, é a demanda pelos chamados biocombustíveis *drop-in*. Estes combustíveis podem ser misturados com produtos petrolíferos. Os combustíveis *drop-in* podem ser uma fonte alternativa de combustível intermutáveis e compatível com os combustíveis convencionais derivados do petróleo, mas sem a necessidade de qualquer mudança na estrutura do motor em relação a seus componentes e funcionamento (IATA, 2015)

Há absoluta necessidade de que estes combustíveis, de cunho renovável, possam entrar nas cadeias produtivas e também ser diretamente utilizados ou misturados com outros componentes da formulação de novos materiais energéticos. Ou seja, devem ter características físico-químicas que permitam seu uso como produto final nos mercados hoje existentes sem que sejam necessárias grandes adaptações técnicas dos motores hoje existentes que funcionam a base de combustíveis fósseis (TEECE, 2008).

Segundo Sérgio Filho (2015) é muito importante que os produtos desenvolvidos sejam certificados para estabelecer alguns padrões sustentáveis de qualidade. Além destes padrões, estas práticas de certificação envolvem gestões e critérios que agregam valor ao produto e entregam uma maior confiabilidade para os potenciais consumidores e representam uma importante barreira de entrada para opções que não possuem a certificação, sendo um importante fator de participação e aceitação de mercado pelos consumidores. Estas certificações são necessárias então para que os biocombustíveis sejam comercializados em larga escala e possam ser uma opção frente aos combustíveis de origem fóssil.

Neste contexto, os cenários de P&D de biocombustíveis limpos para aviação serão investigados por meio da análise de três dimensões de seu desenvolvimento tecnológico. São elas:

- A dimensão geopolítica de empresas, ou seja, sua localização e atuação, com foco nas empresas mais atuantes do mercado,
- As formas pelas quais certas tecnologias compõem os portfólios de produtos de empresas que investem neste setor, e
- As atividades de P&D de tais empresas, na fase de certificação das moléculas-bases (ou “candidatas”) para os biocombustíveis para aviação.

Com estas análises, será possível elencar elementos que possibilitarão uma análise das disposições geográficas destas empresas e possíveis razões para que as inovações em tela sejam adotadas e se difundam por novos mercados de energias limpas.

### 3 PROBLEMATIZAÇÃO

Porém, para tornar os biocombustíveis drop-in comercialmente viáveis para o setor da aviação, soluções tecnológicas e ambientais ainda devem ser desenvolvidas. Alguns importantes desafios a serem enfrentados estão relacionados com o aumento da eficiência nas possíveis rotas de desenvolvimento dos biocombustíveis e a produção em larga escala das principais matérias primas a serem utilizadas neste processo (CORTEZ et. al. 2013).

Na mesma linha de pesquisa, Gegg et al. (2014) colocam que além dos fatores citados por Cortez et al (2013), problemas como infraestrutura para distribuição destes combustíveis e os custos legais envolvidos no processo de homologação e obtenções de licenças de produção junto aos órgãos, como a Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM), podem representar mais desafios.

Para obtenção destes biocombustíveis *drop-in* alguns outros aspectos produtivos colocado por Hendricks et al (2011) devem ser considerados. Entre eles, os autores colocam que, para que os biocombustíveis sejam produzidos de forma mercadologicamente viável, é importante que seja considerada uma possível competição das matérias primas envolvidas neste processo em relação à produção de alimento, uma vez que algumas delas podem ter mesma fonte ou produtos bases.

Ainda, considerações como redução da quantidade de carbono emitido com a utilização destes biocombustíveis e o uso de terras para produção destas matérias primas sem que haja grandes impactos ambientais justificam os investimentos e pesquisas em biocombustíveis como fontes alternativas.

Com isso, o presente trabalho busca responder a seguinte questão: Existe relação entre o nível de certificação e P&D com a localização das empresas que investem em biocombustíveis?

#### 4 JUSTIFICATIVA

Com os altos níveis de emissão de poluentes na atmosfera resultantes da queima de combustíveis fósseis, fazem-se necessários esforços para a utilização de fontes energéticas alternativas, como forma de mitigar os efeitos nocivos da emissão dos gases causadores do efeito estufa na atmosfera.

Analisando alguns números da poluição do setor estudado, segundo relatório da ATAG - *Air Transport Action Group*, no ano de 2013 as aeronaves de uso civil e militar foram responsáveis pela emissão de 705 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> de um total de 36 bilhões de toneladas produzidas neste mesmo ano por todas as atividades humanas, representando assim um total de aproximadamente 2% de toda emissão mundial. Ou seja, a aviação civil se apresenta como uma importante fonte de emissão de gases do efeito estufa.

Assim, fazem-se necessários esforços para alcançar alternativas de mitigação das emissões de gases poluentes na atmosfera derivadas de atividades econômicas, desenvolvendo estratégias mais limpas e sustentáveis.

Como alternativas de biocombustíveis que se apresentam como opções frente aos combustíveis fósseis é possível citar o etanol, o biodiesel e o bioquerosene que podem ser produzidos a partir de diversos processos de conversão que serão estudados.

## 5 METODOLOGIA

Segundo Zikmund et al (2013), a metodologia deste trabalho baseia-se em uma pesquisa exploratória acerca dos esforços de P&D globais, de modo a apresentar um cenário de potenciais tecnologias limpas para aviação civil, aliado às empresas que os desempenham. Isto envolve, como pano de fundo, apresentar as potenciais trajetórias tecnológicas que compõem tais cenários de viabilidade. Este trabalho buscará, então, relacionar esforços tecnológicos e empresas, partindo dos materiais biocombustíveis mais viáveis, aqui chamados de “moléculas candidatas”. O conjunto destas informações compõe, então, o panorama atual do nível tecnológico desempenhado por um conjunto de empresas globais.

Uma forma de entender a viabilidade destes investimentos tecnológicos é analisar os esforços em certificação dos biocombustíveis mais viáveis; para tal, então, a *proxy* do nível de certificação será adotada. Assim, as moléculas candidatas que estão próximas do mercado devem necessariamente obter certificação em função dos mercados de combustíveis serem altamente regulados.

A certificação quando concedida por órgãos credenciados e especializados traz segurança para que os novos produtos em desenvolvimento atendam as necessidades específicas dos combustíveis para aviação frente às características técnicas destes combustíveis, possibilitando novos investimentos em tecnologias com uma maior confiança pelas empresas, representando assim uma forte barreira de entrada aos entrantes que não possuem certificação de seus produtos.

Diante dos diversos desafios colocados para produção em larga escala dos biocombustíveis para aviação, o presente estudo irá analisar, dentre as possíveis rotas tecnológicas para desenvolvimento dos combustíveis *drop-in* para aviação e as dimensões geopolíticas das empresas que investem neste setor. Através das principais rotas tecnológicas que serão apresentadas no presente estudo, será realizada uma análise das empresas e instituições que realizam Pesquisas e Desenvolvimento (P&D) para a viabilização e melhoria de novas e já existentes tecnologias.

Para que seja possível um melhor entendimento das tecnologias de conversão que estão sendo desenvolvidas para os biocombustíveis para aviação, um estudo sobre os esforços em P&D das principais empresas que atuam neste mercado mostra-se como um importante fator de tendência a utilização de novas

tecnologias, uma vez que quanto maiores os esforços destas empresas, maior a possibilidade de novas tecnologias surgirem como opção frente os combustíveis de origem fósseis. Ainda, serão apontados os esforços tecnológicos e iniciativas das empresas que atuam neste setor, mostrando quais moléculas já estão nos estágios mais avançados e próximos de serem comercializados em larga escala e em diferentes mercados.

Neste contexto, o presente trabalho, visando compreender os diferentes cenários de investimentos empresariais globais em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), apresenta, como organização:

- a) Análise de *roadmaps* das tecnologias candidatas, de modo a apresentar os cenários e sua viabilidade para novos mercados;
- b) Os esforços em P&D e a localização das principais empresas que investem no setor;
- c) O nível de certificação de cada uma das vias de produção de biocombustíveis selecionadas, como forma de mensurar a capacidade de materiais candidatos a alcançarem novos mercados a partir da certificação ASTM.

A localização destas empresas irá possibilitar o levantamento de possíveis fatores que propiciam o Desenvolvimento e investimento de novas tecnologias na grande área de biocombustíveis para aviação, junto com políticas governamentais ou metas de redução de emissão de gases poluentes oriundos da queima de combustíveis de origem fóssil.

Segundo Sérgio Filho (2014) as certificações podem ser utilizadas como instrumentos de diferenciação em relação a produtos concorrentes, possibilitando a propriedade intelectual da tecnologia, representando também uma vantagem competitiva.

A partir desta diferenciação, o aumento da demanda de combustíveis renováveis e menos poluentes, gera a necessidade do crescimento da produção destes combustíveis com mecanismos que atestem a confiabilidade, segurança e eficiência destes. Estas práticas se mostram importantes ferramentas que geram a necessidade de criação de direcionamento de políticas governamentais para dar sustentação a estas iniciativas.

Segundo instituto norte-americano IEA-BIOENERGY (2013) podemos colocar quatro principais elementos que estão presentes em grande parte dos processos de certificação. São esses:

- 1) criação de padrões e normas;
- 2) acreditação de instituições certificadoras;
- 3) emissão de selos e certificados;
- 4) revisões sistemáticas a partir da evolução dos sistemas certificados e certificadores.

Para que um produto como o biocombustível para aviação seja homologado, tenha ampla aceitação e seja utilizado no mercado, é necessário que órgãos reguladores atuem no controle da qualidade e certificação do processo produtivo. Este processo envolve uma série de riscos e tem que cumprir requisitos exigidos pelas agências reguladoras governamentais como, por exemplo, a Agência Nacional de Aviação, a ANAC. Este é o mais importante órgão federal brasileiro responsável pela regulamentação e criação de legislações, atuando na fiscalização e regulamentação da atuação de mercado da aviação civil, infraestrutura aeronáutica e aeroportuária no Brasil. Este órgão atua ainda em diferentes áreas como: certificação, fiscalização, normatização e representação institucional (ANAC, 2016).

Com isso, o trabalho irá investigar o nível de certificação de diferentes rotas tecnológicas dos biocombustíveis para aviação, considerando um dos mais importantes órgãos reguladores do mundo responsável por estas certificações: *American Society for Testing & Materials* (ASTM), que é atualmente uma das maiores Organizações de Desenvolvimento de Normas Técnicas do mundo com amplo reconhecimento internacional. Esta é uma instituição sem fins lucrativos que se financia exclusivamente com a venda de suas publicações. Algumas empresas relacionadas com os ramos da aviação e combustíveis utilizam a ASTM para certificar seus produtos:

- Áreas Petroquímicas - Petrobras, PDVSA, Ecopetrol, ENAP, YPF, PEMEX
- Área Aeroespacial - Enaer, Embraer, Aeronáutica Brasileira, Boeing

Para a análise, será considerada a especificação da norma número ASTM D7566 criada em 2009 que certifica os requisitos técnicos para utilização comercial

de combustíveis sintéticos para aviação, sendo incluídas algumas misturas entre os biocombustíveis e combustíveis derivados do petróleo, como o querosene normalmente utilizado neste segmento.

Para que seja uma análise ainda mais completa sobre os diferentes biocombustíveis, será utilizada também como forma de avaliação do nível de prontidão e estágio de desenvolvimento das tecnologias uma ferramenta chamada de *Technological Readness Level* (TRL), desenvolvida pela *Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative* (CAAFI). Em 2009, uma derivação desta ferramenta foi criada para avaliar o nível de prontidão dos biocombustíveis conhecida como "*Fuel Readiness Level*" (FRL), com o objetivo de viabilizar um método para comparação consistente de maturidade tecnológica entre diferentes tipos de tecnologias existentes. (STEINER, et al 2012). Segundo relatório do CAAFI (2014), a FRL também possibilita uma reflexão e análise dos combustíveis em relação aos riscos envolvidos no desenvolvimento destes novos produtos, considerando a compatibilidade com as especificações mecânicas das aeronaves.

Uma vez que estes biocombustíveis sintéticos são certificados e passam a atender o padrão antes estabelecido para os combustíveis de origem fóssil, estes passam a ser equivalentes e liberados para o uso (RUMIZEN, 2014).

## 6 DESENVOLVIMENTO

### 6.1 - CENÁRIOS DE DEMANDAS POR ENERGIAS LIMPAS

Este item apresenta o cenário geral de demandas por biocombustíveis de aviação, no âmbito do atual sistema de aquecimento global derivado de ações antropogênicas. No relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) de 2015, os cientistas responsáveis pelos estudos sobre as mudanças climáticas que vêm acontecendo nos últimos anos afirmam com 95% de certeza que o homem é o principal responsável pelas mudanças climáticas.

O IPCC é um órgão internacional que participa ativamente de estudos sobre mudanças climáticas e ações contra este desenvolvimento não sustentável, atuando nos países membros das Nações Unidas. Para que essas atividades humanas possam impactar cada vez menos no meio ambiente, é necessário que a cada dia novas tecnologias e soluções para as atividades mais nocivas sejam desenvolvidas e criadas, como opção de substituição aos principais agentes poluentes.

Como alternativa para os combustíveis baseados em petróleo, os biocombustíveis se apresentam como uma promissora fonte de energia renovável, liberando quantidades significativamente menores de poluentes. Atualmente temos boas alternativas para a substituição dos combustíveis fósseis por outros de fontes alternativas como cana-de-açúcar, milho, plantas oleaginosas e cereais que serão estudadas nos próximos tópicos. (IPCC, 2016).

Após analisar diversos segmentos da indústria e empresas de serviços, foi constatado um segmento que é responsável por enormes emissões de gases poluentes na atmosfera: o segmento de aviação. Atualmente, o segmento da aviação é altamente dependente dos combustíveis com base no petróleo, representando para estas empresas cerca de 34% de todos os custos operacionais das companhias aéreas (CORTEZ et al. 2013).

Para que seja possível alcançarmos este crescimento sustentável, algumas metas discutidas no relatório da IATA - *International Air Transport Association* (Associação Internacional de Transportes Aéreos) - de 2015 coloca que algumas empresas como companhias aéreas, fabricantes de aviões e prestadores de

serviços na área de aviação se comprometam a atingirem juntas três principais objetivos:

1. Melhorar a eficiência do combustível na média em 1,5 % até o ano de 2020;
2. Limitar as emissões totais através de um crescimento controlado da produção de carbono a partir de 2020;
3. Cortar as emissões totais pela metade até 2050, em comparação a com os níveis emitidos em 2005.

Ainda segundo relatório do IATA de 2015, para que esses três objetivos sejam atingidos foram adotadas algumas estratégias que são compreendidas em 4 pilares:

- Melhorias em tecnologia;
- Melhoria em operações;
- Melhoria em infraestrutura;
- Medidas econômicas baseadas no mercado.

Após apresentadas as principais estratégias a serem adotadas pelas empresas que atuam no setor estudado, o uso de biocombustíveis sustentáveis oferece uma abordagem técnica com alto potencial para diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>, tornando assim possível o alcance das metas colocadas de emissão para 2020 (ELKINGTON, 1998). Para isso, é necessário que programas de incentivo ao uso de biocombustíveis sejam criados para que estes possam ser utilizados de forma comercial e em larga escala.

Ainda segundo o autor, esse uso atualmente é liberado apenas como uma parte ou taxa nos combustíveis como proposta de redução de custo, atraindo assim diferentes empresas para investirem em fontes energéticas renováveis, impulsionando o aumento da participação dos biocombustíveis no setor da aviação. Com isso, faz-se necessário que haja investimento em pesquisas e desenvolvimento por empresas e instituições governamentais por todo mundo para que seja possível o desenvolvimento destas fontes alternativas de biocombustíveis para que os objetivos de redução de emissão sejam atingidos.

## **6.2 AS PRINCIPAIS MOLÉCULAS E ESFORÇOS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**

Dado o cenário de aquecimento global, conclui-se que o mundo deve aplicar intensos esforços para substituir combustíveis fósseis por outros, renováveis e menos poluentes.

Este trabalho se baseia fortemente naquele de Cortez (2013), que apresenta um plano de ação para o futuro dos biocombustíveis na aviação. É apresentada uma análise das cinco principais moléculas e rotas tecnológicas e produtivas estudadas pelo autor, demonstrando quais são as principais moléculas que se mostram como candidatas a substituir os atuais combustíveis de aviação de origem fóssil.

Uma vez definido este universo, passa-se então à análise dos níveis de certificação de cada uma das candidatas, para uma posterior classificação do nível de certificação de cada uma assim como os esforços de inovação realizados por empresas e instituições governamentais. Para esta seleção será utilizado um *Road Map*, que é uma ferramenta gráfica que possibilita de forma visual e descritiva a organização do desenvolvimento das diferentes etapas de um projeto, evidenciando assim a evolução de cada passo em direção à construção final da ideia trabalhada.

A *figura 1* abaixo apresenta o *Road Map* com os principais processos produtivos estudadas por Cortez (2013) para produção sustentável de biocombustíveis para aviação:

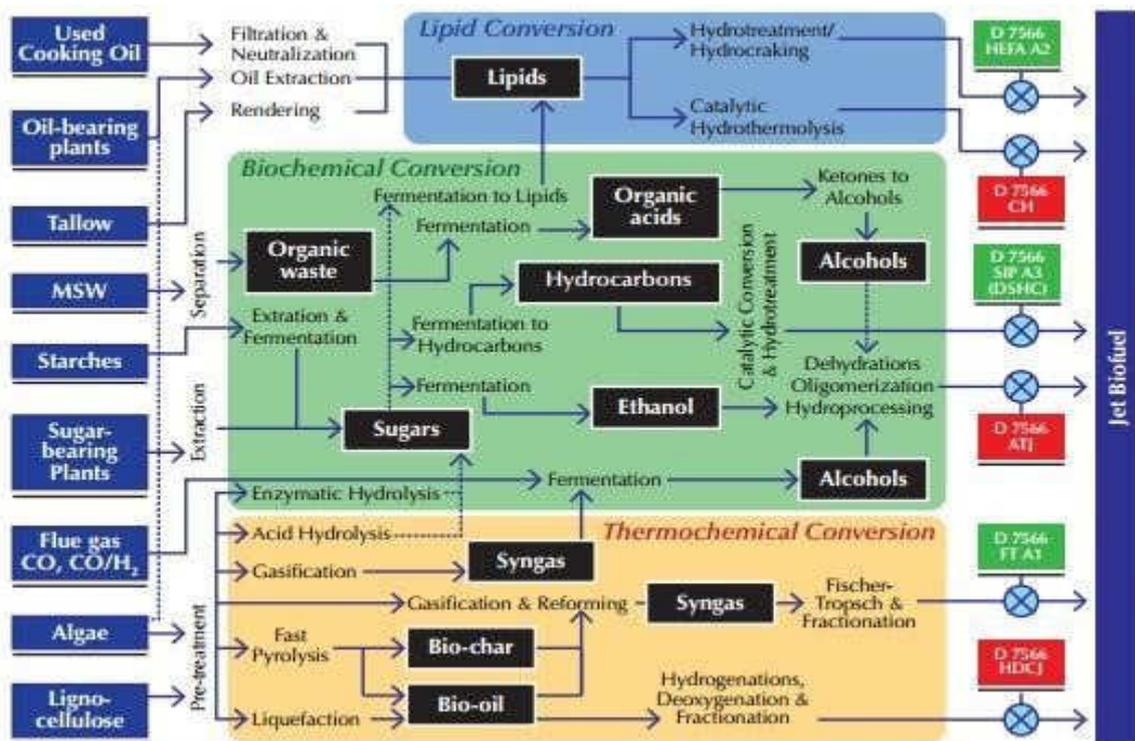


FIGURA 1 - Road Map dos principais processos estudados por Cortez (2013)

Após análise deste diagrama de Cortez (2013), o presente trabalho analisará os seguintes processos produtivos:

1. Fischer-tropsch (FT-SPK)
2. Ésteres Hidroprocessados e Ácidos Graxos (HEFA)
3. Açúcar direto ao hidrocarboneto (DSHC)
4. Celulósico Despolimerizado Hidrotratado para Aviões (HDCJ)
5. Álcool para Aviões (ATJ)

### 6.2.1 FISCHER-TROPSCH (FT-SPK)

Inicialmente, segundo Maniatis (2013) o processo de produção do combustível ocorre por uma conversão termoquímica que libera um gás de síntese formado pela mistura entre moléculas de hidrogênio e de monóxido de carbono. Após a produção deste gás, o processo seguinte transforma estes compostos em cadeias de hidrocarbonetos com comprimentos variados, através do uso de catalisadores que auxiliam na criação de cadeias dos hidrocarbonetos desejados.

O final da transformação do gás em cadeias de hidrocarbonetos resulta em uma espécie de cera, que será transformada posteriormente em outros produtos finais. O jacto é um destes e poderá ser utilizado para produção do biocombustível para a aviação. Este processo requer uma absorção grande de calor para que seja formado um composto a partir acoplamento de duas moléculas de carbono. Utilizando este composto, o querosene parafínico pode ser produzido e levará a denominação de FT-SPK (MANIATIS, 2013).

Para o desenvolvimento do processo FT-SPK temos como principais fontes de matéria prima a biomassa ou os resíduos sólidos urbanos, que são destinados comumente para os aterros sanitários ou lixões. Estes compostos têm como principal vantagem a não competição das áreas produtivas com o segmento alimentício, sendo que o descarte destes resíduos muitas vezes nocivos ao meio ambiente podem ser evitados, representando ainda um custo de produção próximo a zero, devendo ser considerado apenas os custos de transporte e armazenagem. (CHIARAMONTI et. al, 2014).

Ainda segundo estudos dos autores, embora sejam produzidas toneladas de lixo todos os dias nas grandes cidades, não é possível termos hoje uma capacidade produtiva do gás em grande escala, que atenda a demanda mundial de combustíveis para a aviação, surgindo a necessidade de um processo mais eficiente de conversão dos gases em compostos bases que serão futuramente transformados em biocombustíveis.

Para este processo se tornar mais eficiente, altos investimentos com infraestrutura seriam necessários tendo em vista a complexidade da logística de transporte e armazenagem, como colocado anteriormente. Outra opção que pode ser considerada são os resíduos de biomassa gerados pela produção do etanol, que resulta em grandes quantidades de substratos sólidos que podem ser utilizados na produção dos biocombustíveis a partir do processo FT.

Analisando as matérias primas e o processo produtivo FT, o maior desafio hoje é a produção em grandes escalas com custos que sejam justificáveis e cabíveis dentro do atual panorama do mercado de combustíveis, visto que estas demandas no setor da aviação são muito grandes e necessitam de disponibilidade de forma imediata para suprir este mercado. Algumas fontes alternativas já começam a ser estudadas para viabilização desta forma produtiva, como por exemplo, o uso de algas (IATA,2014).

O querosene parafínico (SPK) já está homologado e aprovado pela norma ASTM D7566 desde Setembro de 2009, para ser utilizado em uma proporção de 50% misturado com outros combustíveis de origem fóssil. Além deste composto, formado através do processo FT, outros produtos alcanos aromáticos completam a mistura que irá resultar no bio querosene que será utilizado nas aeronaves (IATA, 2014).

### 6.2.2 ÉSTERES HIDROPROCESSADOS E ÁCIDOS GRAXOS (HEFA)

HEFA é a sigla da termo em inglês “*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*” ou Ésteres Hidroprocessados e Ácidos Graxos, em português. Estes compostos também podem ser encontrados como HJF (*hydrotreated renewable jet fuels*) para os biocombustíveis destinados à aviação. Seu processo produtivo consiste em uma reação dos óleos, extraídos de plantas, com o hidrogênio para que o oxigênio seja removido do composto, ocorrendo assim o processo de hidro tratamento.

Após esta reação, ocorre a separação dos triglicérides em hidrocarbonetos isolados que serão posteriormente utilizados para produção do biocombustível, através de uma combinação com alguns compostos que atuam como catalisadores. Deste processo resulta o biocombustível conhecido como HEFA *Synthetic Paraffinic Kerosene* (SPK) (PEARLSON, 2013)

O HEFA foi homologado e liberado para uso pela norma ASTM D7566 em Julho de 2011, podendo ser utilizado em uma proporção de 50% em misturas com outros produtos derivados do petróleo. Como principais matérias primas utilizadas temos as plantas oleaginosas como a Camélia e o pinhão (PEARLSON et al, 2013).

Segundo Drenth et. al. (2015), as principais vantagens destas oleaginosas são as grandes variedades de plantas não destinadas ao mercado de alimentos e que podem também ser produzidas com uma quantidade menor de água, se comparada com outras culturas. Este processo já é estabelecido tecnologicamente e utilizado por empresas, considerando o grande nível de produtividade destas plantas oleaginosas.

Porém, estas plantas podem apresentar uma competição pelo espaço de plantio com os produtos destinados ao consumo da indústria alimentícia, em grande escala. Ainda, os custos com a matéria prima dos compostos HEFA podem

representar até 70% do custo total de produção, devendo ser somados ainda os custos produtivos dos compostos finais este valor.

### 6.2.3 AÇÚCAR DIRETO AO HIDROCARBONETO (DSHC)

O DSHC é a sigla para palavra inglesa “*Direct Sugar to Hydro Carbons*” ou Açúcares Diretos para Hidrocarbonetos. A primeira etapa do processo consiste na adição de algumas culturas de levedura e bactérias em uma mistura de açúcares. Estes irão atuar na conversão da biomassa em algumas moléculas que contêm oxigênio através do processo de hidrólise, produzindo assim cadeias de hidrocarbonetos, resultando em compostos que serão utilizados diretamente na produção do biocombustível. Esta tecnologia tem um alto potencial de produção de biocombustíveis por ser baseado em um processo de fermentação anaeróbia a partir de diversos açúcares. Um dos derivados da glicose é o farneseno, usado como base para uma gama de produtos que podem substituir combustíveis a base de petróleo (SANDQUIST, 2012).

Esse processo ainda apresenta algumas limitações em infraestrutura. De acordo com Sandquist (2012), para torná-lo economicamente viável é necessário que haja o desenvolvimento de novas enzimas que aumentem a velocidade do processo de hidrólise e tornando-o assim mais eficiente. Esta tecnologia consegue entregar um combustível *drop-in* de aviação renovável para uso comercial, obtendo a certificação na norma ASTM D7566 em 2014 se utilizado em uma proporção de 10% na mistura com outros compostos derivados do petróleo.

### 6.2.4 ÁLCOOL PARA AVIÕES (ATJ)

O ATJ (*Alcohol to Jet*) ou “Álcool para Aviões” é uma das tecnologias mais disponível no mercado atual de biocombustíveis em função de sua ampla utilização no segmento automotivo e conhecimento no mercado, sendo uma fonte de produção mais rápida e em grande escala se comparada com as outras vias. Com isso, o etanol (forma como o álcool é mais comumente utilizado como biocombustível) e o iso butanol apresentam grande potencial a serem explorados no setor da aviação (JOHNSTON, 2013).

Ainda segundo o autor, seu processo produtivo ocorre através da fermentação de açúcares e amidos na qual as moléculas são desidratadas e unidas para que sejam formadas cadeias de hidrocarbonetos de diferentes comprimentos. Após criação destas cadeias, ocorre o processo de destilação para divisão destas moléculas e finalmente a hidrogenação para chegarmos ao composto final.

O Etanol pode ser obtido de matérias primas como a cana de açúcar e o milho, dependendo da região em que são produzidos. Atualmente, este tipo de plantio já é vastamente utilizado e a disponibilidade da matéria prima para produção é abundante, sendo o Brasil um país com grande conhecimento neste tipo de cultura e detentor de boas tecnologias de conversão do açúcar em etanol.

Em Abril de 2016 a ASTM aprovou o ATJ a partir de um voo teste realizado pela Alaska Airline. A norma D7566 ASTM homologou o uso desta tecnologia limitando aos combustíveis produzidos a partir de ATJ em misturas restritas a um nível máximo de 30%. A ASTM publicou uma revisão da sua especificação D7566 ASTM para combustível de aviação contendo hidrocarbonetos sintetizados para incluir o novo combustível, que será conhecido comercialmente como álcool para querosene parafínico sintético, conhecido como ATJ-SPK. (RUMIZEN, 2014)

Segundo Guell (2012), o processo de produção do ATJ já é considerado maduro e tem ampla aplicação em indústrias petroquímicas.

### **6.2.5 CELULÓSICO DESPOLIMERIZADO HIDROTRATADO PARA AVIÃO (HDJC)**

Ainda, como forma de produção de biocombustíveis temos a HDJC (*Hydrotreated depolymerized cellulosic jet*) que do inglês significa Celulósico Despolimerizado Hidrotratado para Combustível de Avião. A primeira parte do processo de produção do biocombustível é o processamento da matéria prima em partículas pequenas para serem aquecidas posteriormente. Nesta etapa alguns catalisadores são utilizados para acelerar o processo para que o produto final seja convertido com maior eficiência (LANE, 2015).

O composto resultante deste processo é uma mistura de óleos que passará pela retirada do oxigênio através da destilação simples. (SANDQUIST, 2012).

Segundo BillerudKorsnäs (2014), como principais fontes de matéria prima para produção do HDJC, temos algumas diversidades de biomassa e células lignocelulósicas. Estes compostos têm origem em resíduos agroindustriais e

agroflorestais, principalmente. São facilmente encontrados em quantidades abundantes e não precisam de grandes deslocamentos. Além desta grande disponibilidade, estes compostos não competem por terras com os produtos destinados a indústria alimentícia, representando assim uma forma sustentável de utilização destes resíduos que seriam descartados para produção de energia.

Os processos produtivos e de homologação do HDCJ estão em fase de aprovação na ASTM para obtenção da certificação, sendo o alto custo operacional neste processo o maior obstáculo para obtenção de maiores investimentos. Porém, alguns testes já foram realizados no Canadá pelo Laboratório P&WC e a certificação pela norma ASTM D1655 já foi obtida para esta tecnologia, o que representa a liberação de uso de no máximo 25% deste combustível no total da mistura com outros combustíveis de origem fóssil. (HOLLADAY, 2014).

Esta molécula tem sido implantada e estuda desde os anos 70, começando a ser utilizado em maior escala nos anos 90. Atualmente, as empresas estudam formas para diminuição dos custos do processo produtivo, desenvolvendo novas técnicas de produção de biocombustíveis com essa tecnologia para viabilização do mesmo (MANIATIS, 2013).

### **6.3 - ESFORÇOS EM P&D E CERTIFICAÇÃO DAS EMPRESAS DE MAIOR IMPORTÂNCIA NO MERCADO SEGUNDO ROAD MAP DE CORTEZ**

A seguir, serão elencadas as principais empresas que desenvolvem trabalhos com cada um dos processos produtivos estudadas, gerando assim uma amostra que possibilitará a análise dos níveis de certificação e localização geográfica das empresas atualmente. Este levantamento possibilitará uma análise dos investimentos em P&D na área de biocombustíveis para avião, sendo elencados algumas possíveis causas e incentivos políticos para esta distribuição geográfica.

Conforme proposto anteriormente, como forma de avaliação do nível de prontidão dos processos analisados e esforços das empresas para desenvolvimento de diferentes moléculas será utilizada a escala FRL, derivada da escala TRL como forma de auxiliar o entendimento do nível de prontidão de mercado. O principal objetivo desta análise é checar se as tecnologias estudadas já se encontram em fase avançada de desenvolvimento junto às empresas que as utilizam.

Segundo o estudo de TAYLOR (2014) os 9 diferentes níveis da FRL podem ser subdivididos em 5 subgrupos:

- Níveis 1 à 4: correspondem a pesquisa baseada em laboratório e desenvolvimento;
- Nível 5: é referente a instalações-piloto;
- Níveis 6 e 7: combustíveis em fase de testes em grande escala e certificação reconhecida pela ASTM;
- Nível 8: em fase de desenvolvimento de oportunidades de negócios viáveis e avaliação de emissão de gases de efeito estufa;
- Nível 9: combustível pronto para o funcionamento e utilização comercial.

Considerando as subdivisões da escala, para Mawhood (2014), os cinco processos produtivos estudados encontram-se nos seguintes níveis da escala FRL:

- HEFA: 9.
- FT: 7 e 8.
- HDCJ: 6.
- DSHC: 5 a 7.
- ATJ: 4 a 6.

### 6.3.1 - FISCHER-TROPSCH (FT-SPK)

Uma importante indústria que utiliza o processo FT para produção de biocombustíveis para aviação é a DKRW, baseada no Estado de Wyoming, Estados Unidos. Esta empresa desenvolve trabalhos de conversão de substratos como carvão e o coque em hidrocarbonetos para produção de biocombustíveis. Estes produtos contam com uma menor emissão de enxofre em relação aos combustíveis de base fóssil, se apresentando como uma alternativa para que as metas de redução das emissões de gases poluentes sejam atingidas, como citado anteriormente no presente estudo. Este processo é conhecido como CTL (*Coal-to-Liquid*, ou Carvão para Líquido) e tem uma estimativa de produção de 5.7 bilhões de barris até 2030 segundo *U.S. Energy Information Administration* (2016).

Já o projeto Pearl GTL, desenvolvido em parceria entre a empresa Estado Unidense Shell e a Qatar Petroleum tem como processo produtivo chamado GTL (*Gas-to-Liquids*, ou Gases para Líquidos). Esta parceria apresenta a maior produção

mundial de biocombustíveis a partir do processo GTL atualmente, sendo também o com menor custo produtivo de parafinas sintéticas, composto base para produção dos biocombustíveis. Ainda, esta planta situada em Al Khor, Catar, possui a maior capacidade produtiva de biocombustíveis a base de óleos obtidos a partir de resíduos sólidos e biomassas (HOEK, 2006).

Com uma proposta diferente, a Solena Fuels é uma empresa também baseada nos Estados Unidos, no Estado de Washington, que utiliza como matéria prima produtiva resíduos de biomassa originados de lixo urbano não reciclável e resíduos agrícolas. A empresa desenvolveu uma tecnologia chamada de IBGLT que significa “*Integrated Biomass-Gas to Liquid*” ou Biomassa Integrada – Gás para Líquido, capaz de converter o carbono na forma gasosa em combustíveis líquidos através de um processo que envolve alta temperatura. Esta tecnologia possibilita a criação de novos biocombustíveis *drop-in* para utilização em misturas junto à outros combustíveis de origem fóssil (MOTYCKA, 2014).

### 6.3.2 - ÉSTERES HIDROPROCESSADOS E ÁCIDOS GRAXOS (HEFA)

Já para o processo produtivo utilizando o HEFA, a empresa Neste Oil com instalações Na Finlândia, Singapura e Roterdão, desenvolveu um processo chamado de NExBTL capaz de produzir o chamado “*Renewable Diesel Fuel*” (Diesel Renovável), que garante um biocombustível 100% renovável e com certificado de rastreabilidade da localização das plantas que deram origem ao biocombustível. Neste ramo em que atua, a Neste Oil tem como grande desafio a certificação das matérias-primas para produção do Diesel, trabalhando intensamente na utilização de óleos e gorduras residuais como principal matéria-prima (DE JONG et al, 2015).

A empresa francesa Total de La Mede Biorefinery, anunciou em 2015 um investimento de 200 milhões de euros para converter a refinaria de petróleo de La Mede no sul da França para uma bio refinaria produção de diesel renovável a partir de OAU e outras matérias-primas.

Já a refinaria Eni anunciou em 2014 planos para converter sua refinaria de petróleo em uma "refinaria verde" para produzir o chamado “diesel verde” em Veneza, Itália. O biodiesel é obtido através do processo Ecofining™, em parceria com a empresa Estado Unidense Honeywell-UOP. A instalação será capaz de produzir biocombustível para aviação, com o objetivo de produzir 300.000 toneladas

de biocombustível usando o óleo de palma, mas em planos futuros planeja usar gorduras residuais e óleos animais, óleos de algas e outros resíduos como matérias-primas.

A empresa Preem com base na Suécia anunciou que eles desenvolveram diesel renovável a partir de resíduos da indústria florestal sueca durante seis anos, com um investimento de mais de U\$ 47 milhões de dólares para desenvolver o diesel. O “Diesel Evolução” da Preem, que inclui 15% de biodiesel produzido a partir de um resíduos da indústria florestal e 5% de biodiesel à base de canola. este biocombustível é comercializado em 370 de um total de 600 postos de gasolina do país. Este biodiesel reduz as emissões de gases responsáveis pelo Efeito Estufa em 16% quando comparados com os combustíveis com origem fóssil, o equivalente a 120.000 carros a menos nas ruas diariamente (BIOFUELSDIGEST 2011).

Já a americana Dynamic Fuels, baseada no Estado de Louisiana, utiliza um processo que envolve gorduras animais e óleos vegetais como matéria prima para este processo de conversão HEFA. Em 2011, a Dynamic Fuels alcançou uma produção de 87% da capacidade da planta em biocombustíveis renováveis, significando uma quantidade de aproximadamente 65 milhões de galões por ano (SYNTROLEUM, 2011).

### **6.3.3 - ÁLCOOL PARA AVIÕES (ATJ)**

O ATJ vem sendo desenvolvido por parcerias visando a produção de combustível para aviação existir entre empresas como BioChemtex / GEVO. Estas empresas receberam apoio para que as primeiras amostras testadas com sucesso do combustível pudessem ser certificadas para utilização em companhias aéreas como a Lufthansa e entidades governamentais como a Força Aérea Americana. (CHIARAMONTI, 2014).

Com base nos Estados Unidos, no Estado de Minnessota, a Gevo desenvolveu um processo para produção do isobutanol através de fermentações eficientes. Uma vez otimizada, é esperado que a tecnologia da Gevo viabilize uma estrutura de custos muito mais baixos para a produção do isobutanol. Quando combinado com a natureza renovável das matérias-primas utilizadas, este deve permitir uma gama muito mais ampla de aplicações finais para isobutanol além de combustível para

aviação, como uso na produção de plásticos, borracha e solventes (CHIARAMONTI, 2014).

Também desenvolvendo trabalho com o etanol para aviação, a empresa americana Byorgy localiza-se no Estado da Califórnia e desenvolvem este biocombustível com base em um processo chamado de “plataforma de açúcar”. A empresa investe hoje em tecnologias que utilizam diferentes substratos para produção de biocombustíveis, como por exemplo algas e óleos vegetais. Assim, a Byorgy tem como objetivo alavancar a infraestrutura produtora do etanol como opção de biocombustível para aviação e apoiar a demanda contínua e crescente por biocombustíveis tradicionais à base de açúcar, em parte sustentada por exigências impostas pelo Governo de todo o mundo. Este processo desenvolvido pela Byorgy proporciona novas oportunidades de mercado para a indústria de etanol/açúcar, permitindo a conversão e substratos que são à base de açúcar para biocombustíveis líquidos "drop -in" avançados convencionais. (BYORGY, 2016)

Já a empresa americana Cobalt Biofuels criada no Estado da Califórnia desenvolveu uma tecnologia para converter diferentes fontes de matérias primas em um combustível a base de bibutanol celulósico. Esta empresa desenvolveu uma tecnologia para converter extratos de biomassa como o bagaço de cana-de-açúcar no composto base para o etanol. Com uma alta demanda por estes substratos energéticos, algumas empresas químicas como a brasileira Rhodia desenvolveram trabalhos com esta tecnologia para produção de biocombustíveis já que o Brasil tem um alto potencial de produção de cana-de-açúcar, matéria prima base para produção do bibutanol desenvolvido pela Cobalt.

Ainda utilizando o processo de conversão de biocombustíveis através do ATJ, a empresa LanzaTech com base nos Estados Unidos, Estado da Califórnia, desenvolve um processo de conversão biológica do carbono através da fermentação de diferentes gases. Este processo utiliza alguns microrganismos que produzem gases residuais que serão posteriormente transformados em um composto líquido, sendo a base do biocombustível produzido pela empresa. Esta tecnologia permite a captura das moléculas de carbonos para transformação em compostos que serão importantes compostos energéticos (LANZATECH, 2016).

#### **6.3.4 - CELULÓSICO DESPOLIMERIZADO HIDROTRATADO PARA AVIÃO (HDCJ)**

A empresa de origem australiana Licella desenvolveu uma tecnologia que combina um processo hidrotermal de liquefação com a criação de um composto chamado linhita, utilizado para fabricação dos biocombustíveis e outros produtos químicos a partir do processo de utilização do celulósico despolimerizado hidro tratado. (ARENA, 2013)

Já a empresa americana KiOR, baseada no Estado do Texas, utiliza uma tecnologia que possibilita a produção de biocombustíveis a partir do processamento de pinho chamado de pirólise catalítica, utilizando como catalizador para aceleração do processo produtos naturais como a argila, por exemplo. A empresa tinha como plano em 2014 a instalação de um planta produtiva com a capacidade de processar 1800 toneladas de matéria prima por dia, produzindo cerca de 75 galões de combustíveis por tonelada de pinho processado. Estas instalações tinham o custo estimado de U\$ 350 milhões de dólares, mas acabou não sendo efetivada por problemas financeiros da empresa (BROWN, 2013).

#### **6.3.5 - AÇÚCAR DIRETO AO HIDROCARBONETO (DSHC)**

O processo de conversão DSHC vem sendo desenvolvido de forma avançada pela empresa Amyris em parceria com a brasileira Total. Em 2012 foi inaugurada em Brotas, cidade localizada no interior do Estado de São Paulo, a planta produtiva com projeção de capacidade de até 50 milhões de litros de biocombustível por ano. O local foi escolhido devido à alta disponibilidade da matéria prima desta rota tecnológica no Brasil: a cana de açúcar.

#### **6.4 - ANÁLISE DAS MOLÉCULAS: RELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE P&D E CERTIFICAÇÃO COM A LOCALIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS EMPRESAS**

Após levantamento das principais empresas que desenvolve diferentes tecnologias para os biocombustíveis para aviação, níveis de certificação de cada uma delas e o nível de prontidão frente à FRL. Estas informações serão utilizadas para uma análise frente à localização destas empresas, levantando algumas hipóteses sobre a relação entre a prontidão das diferentes tecnologias e a posição geográfica das empresas que as desenvolvem.

A *Tabela 1* compila as informações sobre os níveis de certificação pela ASTM, na escala FRL assim com os aspectos positivos e negativos de cada uma delas, facilitando assim a análise das cinco diferentes tecnologias em estudo.

	<b>Certificação ASTM</b>	<b>Nível escala FRL</b>	<b>Aspectos Positivos</b>	<b>Aspectos Negativos</b>
<b>FT</b>	Aprovada pela ASTM D7566 (setembro/2009, permitindo 50% de mistura)	7 a 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo baixo das principais matérias primas;</li> <li>- Alto rendimento produtivo;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matérias primas apresentam alto custo na coleta e transporte até o processamento.</li> <li>- Limitações em infraestrutura e investimento alto na planta.</li> </ul>
<b>HEFA</b>	Aprovada pela ASTM D7566 (julho/2011), permitindo 50% de mistura	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta produtividade, sobretudo as plantas Oleaginosas;</li> <li>- A tecnologia é bem comprovada e praticada comercialmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abasteceria aeroportos longe de refinarias e próximo de campos agrícolas;</li> <li>- Os custos com a matéria primas pode representar até 70% do custo produtivo.</li> </ul>
<b>DSHC</b>	Aprovada pela ASTM D7566 (junho/2014, permitindo 10% de mistura)	5 a 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo baixo de matérias primas;</li> <li>- 10% de mistura reduz 5% dos gases de efeito estufa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitações em infraestrutura no processo produtivo em grande escala;</li> </ul>
<b>ATJ</b>	Aprovada pela ASTM D7566 (julho/2016), permitindo 30% de mistura	4 a 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo baixo de matérias primas;</li> <li>- Grande potencial de produção;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo com transporte alto;</li> <li>- Limitações em infraestrutura;</li> </ul>
<b>HDCJ</b>	Aprovada pela ASTM D1655 (julho/2016), permitindo 30% de mistura	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo baixo de matérias primas;</li> <li>- Maximiza a produção de óleo, com rendimentos 80% em peso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matérias primas apresentam alto custo na coleta e transporte até o processamento.</li> <li>- Limitações em infraestrutura e investimento alto na planta.</li> </ul>

Tabela 1 – Análise dos pontos estudados dos processos produtivos. Adaptado de GAMARRA (2015)

O quadro mostra que as rotas tecnológicas com o maior nível de certificação, os que permitem 50% de biocombustíveis na mistura, são o FT e o HEF. Em relação à posição geográfica das empresas analisadas, podemos ver uma grande concentração destas nos Estados Unidos da América (EUA) e países da Europa, sendo que são nestes locais que as principais empresas que desenvolvem respectivamente o FT o HEFA se localizam.

A *figura 2* abaixo representa o mapa dos EUA e as a localização de algumas das empresas estudadas, representadas por diferentes cores em função do processo produtivo utilizado para fabricação dos biocombustíveis:



FIGURA 2 - Localização das empresas que desenvolvem trabalhos com o ATJ, HDCJ e FT

Já a *figura 3* apresenta um mapa da Europa, com outras empresas estudadas para os processos produtivos HEFA e DSHC:

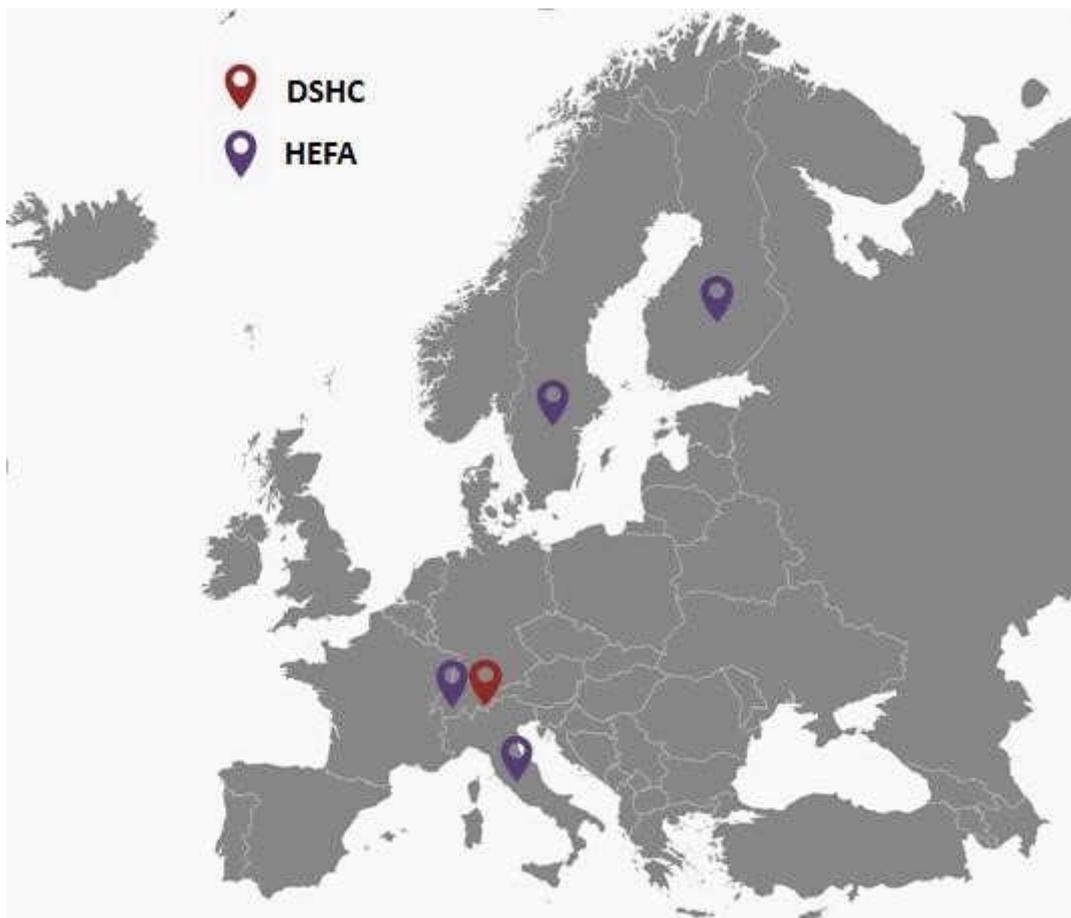


Figura 3 - Localização das empresas que desenvolvem trabalhos com o DSHC e HEFA

## 7 CONCLUSÃO

Após análise das principais tecnologias que estão sendo desenvolvidas para produção dos biocombustíveis para aviação, podemos levantar alguns aspectos que determinam a localização das principais empresas que trabalham com estes processos produtivos. Segundo análise realizada na *tabela 1*, os processos produtivos que se encontram mais maduros e próximos de uma produção em larga escala são o HEFA e o Fischer-Tropsch pelo nível de certificação pela ASTM e rendimento do processo produtivo, principalmente. Ainda, estes processos disponibilizam de matérias primas que podem ser produzidos em grandes quantidades.

Para estes processos produtivos, é notório que as empresas que as desenvolvem e obtêm as certificações necessárias para produção e utilização de forma comercial concentram-se nos Estados Unidos e em países do norte Europeu, principalmente. Uns dos principais motivos para esta concentração são os incentivos governamentais que são concedidos para a produção e desenvolvimento destes biocombustíveis, buscando assim fontes energéticas menos poluidoras que possibilitem alcançar as metas ambientais colocadas por estes países para redução de poluição e emissão de gases nocivos ao meio ambiente, até o ano de 2020.

Como forma de incentivo a esses desenvolvimentos nos EUA, a CAAFI (*Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative* - Iniciativa Comercial para Combustíveis Alternativos para Aviação) é uma iniciativa que reúne as empresas aéreas, os produtores de combustíveis e aeronaves, contando ainda com forte participação do Governo dos EUA para o desenvolvimento de políticas e ações no ramo dos biocombustíveis para aviação comercial. Este importante envolvimento do Governo possibilita que ações voltadas ao desenvolvimento da área de biocombustíveis obtenham incentivos e políticas de facilitação da atuação das empresas nesta área.

Como exemplo destas políticas de incentivos setoriais realizadas por este país podemos citar a *Energy Policy Act*, da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (*US Environmental Protection Agency*), atuando em diversas frentes produtoras de energia no país, entre elas, os biocombustíveis que possibilitam menores impactos ambientais. Em parceria com o Governo, algumas leis preveem a garantia de

substanciais empréstimos aos agentes que desenvolvem e utilizam tecnologias para o avanço de fontes energéticas sustentáveis. Ainda, além de agir diretamente no desenvolvimento destes produtos alternativos, a Agência atua diretamente na quantidade de biocombustíveis que deve ser misturada aos combustíveis de origem fóssil ou outras formas não renováveis no país. Assim, estas políticas atuam diretamente na produção de novas tecnologias, criando também mecanismos de consumo e utilização das novas fontes energéticas que apresentam menores impactos ao meio ambiente.

Já para o mercado Europeu, podemos apontar algumas importantes ações para estimular o desenvolvimento de energias limpas e renováveis como os biocombustíveis. Uma destas consiste nas Diretrizes de Energias Renováveis “2009/28/EC”. Este conjunto de metas foi aprovado pelo Parlamento Europeu em Dezembro de 2008 e conta com algumas importantes ações que vão de encontro com os objetivos estabelecidos pela IATA apresentados no início do trabalho. Um destes foi a meta de que até o ano de 2020 as fontes energéticas limpas e renováveis devem representar uma participação de 20% de toda energia consumida, além de aumentar em 20% a eficiência energética destas fontes alternativas.

No continente europeu, alguns programas como o “Horizonte 2020” se apresentam como importantes ferramentas para que a UE atinja as metas de aumento de participação de energias renováveis, sendo reservado um fundo de aproximadamente 6 bilhões de euros pela UE para estímulo de um desenvolvimento seguro e eficiente no setor. Também como plano de fomento às energias limpas na UE, o Plano Estratégico Europeu para as Tecnologias Energéticas, conhecido como Plano SET tem o principal objetivo de promover medidas que acelerem esta maior participação das energias renováveis no mercado.

A tabela 2 compila as informações destas tecnologias mais maduras em relação ao nível de certificação, localização e políticas analisadas:

Tecnologia	Certificação ASTM	Empresas	Localização	Políticas
<b>1. Fischer-Tropsch (FT)</b>	D7566, permitindo 50% de mistura	DKRH Pearl GTL Solena Fues Dynamic Fuel	EUA e Qatar	1 - <i>Energy Policy Act</i> , da Agência de Proteção Ambiental dos EUA 2- CAAFI (Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative - Iniciativa Comercial para Combustíveis Alternativos para Aviação)
<b>2. Ésteres Hidroprocessados e Ácidos Graxos (HEFA)</b>	D7566, permitindo 50% de mistura	Neste Oil Total Eni Preem	Finlândia França Itália Suécia	1 -Diretrizes de Energias Renováveis “2009/28/EC” 2 -Programas como o “Horizonte 2020”

Tabela 2 – As duas tecnologias mais maduras e as empresas que as desenvolvem

Após análises acerca do tema, pode-se concluir que o incentivo governamental para desenvolvimento de novas tecnologias e implementação de metas, a partir de políticas públicas, faz-se um importante instrumento que possibilita que o setor de biocombustíveis se consolidar como um dos principais agentes de mudança para alcance das metas ambientais. Nota-se também que existe uma grande relação entre os níveis de investimento e os incentivos governamentais, determinando assim grandes pólos de P&D nestes locais, como observado no trabalho em relação aos EUA e UE.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC - *Agência Nacional de Aviação Civil*. Disponível em [www.anac.gov.br](http://www.anac.gov.br), 2016

ARENA: *Commercial demonstration of lignocellulosics to (unique) stable BioCrude Oil*. Australian Renewable Energy Agency, 20

ASTM. *American Society for Testing and Material- Full Overview*, 2016. Disponível em <http://www.astm.org>, Acessado em Maio de 2016

ATAG - Air Transport Action Group: *Facts & Figures*, Disponível em [www.atag.org/](http://www.atag.org/) 2016. Acessado em Abril de 2016.

BILLERUDKORSNÄS, *Discontinues pre-study on production of green oil, further focuses on smarter packaging solutions*. Disponível em: <http://www.billerud.se> 2013. Acessado em Junho de 2016.

BIOFUELSDIGEST: *Preem launches wood residue-based Evolution Diesel in Sweden* Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com>, 2011. Acessado em Junho de 2016.

BROWN, T; BROWN; R.: *A review of cellulosic biofuel commercial-scale projects in the United States*. Biofuels, Bioproducts and Biorefining. V: 7, p. 235-245, 2013  
*Business*, New Society Publishers. 1998

BYORGY: *Byogy Renewables*. Disponível em: <http://www.byogy.com>, 2016, Acessado em Setembro de 2016

CAAFI. Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative. *Fuel Readiness Level*. 2014. Disponível em [www.caafi.org](http://www.caafi.org). Acessado em Maio de 2016

CHIARAMONTI, D. PRUSSI, M., BUFFI M, et. al.: *Sustainable bio kerosene: Process routes and industrial demonstration activities in aviation biofuels*. Applied Energy, Itália. v.136, p. 770-774, 2014.

COLLETTI, R. A. *Biodiesel: Combustível renovável e ambientalmente correto*. 2005. Disponível em [www.biodieselbr.com](http://www.biodieselbr.com); Acesso em: Maio de 2016.

CORTEZ, L., NIGRO, F., NASSAR, A. et al; *Plano de voo para biocombustíveis no Brasil: Plano de ação*. FAPESP, UNICAMP, 2013.

DE JONG S.; HOEFNAGELS, R.; FAAIJ, A; et al. *Techno-economic analysis of short-term production strategies for renewable jet fuels – the path toward fossil fuel price parity*. Biofuel Bioprod Bioref. v: 9(6) p 778–800, 2015.

EIA - Energy Information Administration: *Annual Energy Outlook*, 2016

ELKINGTON, J.: *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century*

FILHO, S.; *Futuros do Bioetanol - O Brasil na liderança?* P. 100-102. 2015

GAMARRA, J.; BADEJO, M.; GOMES, J.: *As novas trajetórias tecnológicas dos biocombustíveis para aviação*. XII Congresso Latino Ibero-americano de Gestão de Tecnologia. Rio Grande do Sul, Brasil, 2015.

GEGG, P., BUDD, L., ISON, S. *The market development of aviation biofuel: Drivers and constraints*. Journal of Air Transport Management, v. 39, p. 35-40. 2014.

GÜELL B.; BUGGE, M.; KEMPEGOWDA, R.; et al.: *Benchmark of conversion and production technologies for synthetic biofuels for aviation*. Apresentado em SINTEF Energy Research, Noruega, 2012.

HENDRICKS, R., BUSHNELL, D., SHOUSE, D.: *Aviation Fueling: A Cleaner, Greener Approach*, *International Journal of Rotating Machinery* .V.1, p. 23-24, 2011.

HOEK, A.: *Synthesis Gas Chemistry*, Conferência DGMK Dresden, 2006.

HOLLADAY, J.; ALBRECHT, k.; HALLEN, R.: *Renewable routes to jet fuel*. Japan Aviation Environmental Workshop—Innovative concepts for carbon neutral growth, 2014.

IATA- *International Air Transport Association*, Revisão anual, 2015. Disponível em <http://www.iata.org/> Acessado em Maio de 2016

JOHNSTON, G. *Alcohol to Jet*. Disponível em <http://www.alternativefuelsworldwide.com>. Acessado em Setembro de 2016

LANE, J.: *Ensyn, A strategic relationship for the production of renewable transportation*. Disponível em: <https://www.ensyn.com>., 2015. Acessado em outubro de 2016.

LANZATECH: *Technical Overview*. Disponível em: <http://www.lanzatech.com>. Acessado em Setembro de 2016

MANIATIS, K., WEITZ, M., ZSCHOCKE, A.: *A 2 million tons per year: A performing biofuels supply chain for EU aviation*. Comissão Europeia, p. 14-15, 2013.

MAWHOOD, R.; COBAS, A. R.; SLADE, R.: *Establishing a European renewable jet fuel supply chain: the techno-economic potential of biomass conversion technologies*. Imperial College. p 17-46, 2014.

MOTYCKA, S.: *Solena Fuels: Sustainable Jet & Diesel Fuel from Waste*. Alternative Fuels & Propulsion Systems Conference. Londres, 2014

NYGREN, E.; ALEKLETT, K.; HÖÖK, M. et. al. *Aviation fuel and future oil production scenarios*. Energy Policy, v. 37, p. 4003-4010, 2009.

PARLAMENTO EUROPEU. Disponível em [www.europarl.europa.eu](http://www.europarl.europa.eu). 2016, Acessado em Outubro de 2016

PEARLSON, M; WOLLERSHEIM, C.; HILEMAN J.; et al :*A techno-economic review of hydroprocessed renewable esters and fatty acids for jet fuel production*. Biofuel Bioprod Bioref v.7, p.: 89–96, 2013.

RUMIZEN, M.: *Certification-Qualification Breakout*. FAA alternative fuels r&d programs, 2014. Disponível em [www.caafi.org/](http://www.caafi.org/) Acessado em Maio, 2016.

SANDQUIST, J.; UELL, B.: *Overview of Biofuels for Aviation*. *Chemical Engineering Transactions*, v. 29, p. 1147-1152, 2012.

STEINER, J., LEWIS, K., BAUMES, H., et al. *A Feedstock Readiness Level Tool to Complement the Aviation Industry Fuel Readiness Level Tool*, BioEnergy Research, 5(2), 496–503. 2012

SYNTROLEUM: *Syntroleum Announces Record July Production and Second*

TAYLOR, R: *ARUP URS, & E4tech: Advanced Biofuel Feedstocks – An Assessment of Sustainability*, p, 36-38, 2014.

TEECE, D.: *Dosi's technological paradigms and trajectories: insights for economics and management*. *Industrial and Corporate Change*, v. 17, p. 507-510. 2008.

ZIKMUND, W. G., BABIN, B. J., CARR, J. C., & Griffin, M. *Business research methods* (9th ed.). Mason, OH: South-Western, 2013.