

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

André Brum Missaggia

**ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DO BIOCOMBUSTÍVEL DI-AMIL  
ÉTER (DAE) PARA SER UTILIZADO COMO COMBUSTÍVEL DE  
AVIAÇÃO**

Santa Maria, RS  
2020



**André Brum Missaggia**

**ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DO BIOCOMBUSTÍVEL DI-AMIL ÉTER  
(DAE) PARA SER UTILIZADO COMO COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, na linha de Pesquisa em Métodos quantitativos para tomada de decisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Nattan Roberto Caetano

Santa Maria, RS  
2020

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Missaggia, André Brum

Análise da competitividade do biocombustível di-amil éter (DAE) para ser utilizado como combustível de aviação / André Brum Missaggia.- 2020.  
113 p.; 30 cm

Orientador: Nattan Roberto Caetano  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, RS, 2020

1. Competitividade 2. Biocombustíveis de aviação 3. Combustíveis alternativos I. Caetano, Nattan Roberto II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

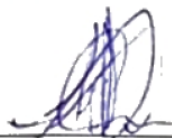
Declaro, ANDRÉ BRUM MISSAGGIA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**André Brum Missaggia**

**ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DO BIOCOMBUSTÍVEL DI-AMIL ÉTER  
(DAE) PARA SER UTILIZADO COMO COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

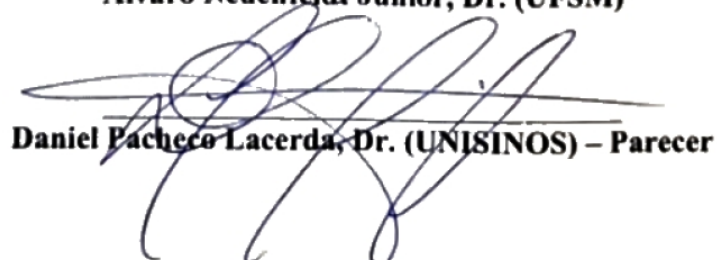
**Aprovado em 18 de fevereiro de 2020:**



**Nattan Roberto Caetano, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



**Alvaro Neuenfeldt Júnior, Dr. (UFSM)**



**Daniel Pacheco Lacerda, Dr. (UNISINOS) – Parecer**

Santa Maria, RS  
2020



*Tudo que a mente humana pode  
conceber ela pode conquistar.*

*(Napoleon Hill)*





## RESUMO

### ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DO BIOCOMBUSTÍVEL DI-AMIL ÉTER (DAE) PARA SER UTILIZADO COMO COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO

AUTOR: André Brum Missaggia.

ORIENTADOR: Dr. Nattan Roberto Caetano.

O desenvolvimento de combustíveis alternativos para o setor da aviação vem ao encontro com a necessidade global de diminuir a emissão de gases de efeito estufa (GEE). Só este setor, tem gerado aproximadamente 2% das emissões globais de gases prejudiciais, com projeção de aumento 3% até 2030 caso não houver mudanças significativas (ICAO, 2016; VILT, 2017). Ademais, a indústria de aviação já tem metas ambiciosas de redução da emissão de poluentes de 50 a 80%, com a utilização de biocombustíveis. Nesse intento, o presente estudo teve como objetivo analisar a competitividade do composto di-amil éter (DAE) para a utilização como um aditivo na formulação de biocombustíveis para aviação. Por meio do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi priorizado os fatores que podem interferir na competitividade do biocombustível, e com a lógica *Fuzzy* utilizando os parâmetros de entrada (critérios priorizados da AHP) e saída (competitividade) foi avaliado o nível de competitividade. A abordagem metodológica caracteriza-se com um estudo de caso de caráter combinado com informações obtidas pelos especialistas e pela literatura. Os resultados demonstraram que o biocombustível di-amil éter (DAE) apresenta nível satisfatório de competitividade tendo potencial para ser incorporado na matriz energética brasileira. Sendo os critérios Custos, Homologação e utilização e RenovaBio os mais críticos para melhor ou pior nível de competitividade.

**Palavras-chave:** Competitividade. Biocombustíveis de aviação. Combustíveis alternativos.



## **ABSTRACT**

### **COMPETITIVENESS ANALYSIS OF BIOFUEL DI-AMYL ETHER (DAE) TO BE USED AS AVIATION FUEL**

**AUTHOR:** André Brum Missaggia.  
**ADVISOR:** Nattan Roberto Caetano, Dr.

The development of alternative fuels for the aviation sector meets the global need to reduce the emission of greenhouse gases (GHG). This sector alone has generated approximately 2% of global harmful gas emissions, with a projected increase of 3% by 2030 if there are no significant changes (ICAO, 2016; VILT, 2017). In addition, the aviation industry already has ambitious targets for reducing pollutant emissions by 50 to 80%, with the use of biofuels. To this end, the present study aimed to analyze the competitiveness of the di-amyl ether compound (DAE) for use as an additive in the formulation of aviation biofuels. Through the Analytic Hierarchy Process (AHP), the factors that may interfere with the competitiveness of biofuel were prioritized, and with the Fuzzy logic using the input parameters (AHP prioritized criteria) and output (competitiveness), the level of competitiveness was assessed. The methodological approach is characterized by a case study of character combined with information obtained by specialists and by the literature. The results showed that the biofuel di-amyl ether (DAE) has a satisfactory level of competitiveness and has the potential to be incorporated into the Brazilian energy matrix. Costs, Homologation and use and RenovaBio are the most critical criteria for better or worse competitiveness.

**Keywords:** Competitiveness. Aviation Biofuels. Alternative Fuels.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Organização do estudo.....	28
Figura 2 – Definição de protocolo de pesquisa bibliométrica.....	29
Figura 3 – Pesquisa nas bases Web of Science e Springer .....	30
Figura 4 – Bases de publicações: Scopus, Emerald Insight e Science Direct.....	31
Figura 5 – Palavras-chave mais citadas .....	32
Figura 6 – Períodos das publicações .....	33
Figura 7 – Autores analisados .....	34
Figura 8 – Quantidade de Journals citados .....	40
Figura 9 – Fator de impacto SJR (2017) .....	41
Figura 10 – Visualização da densidade .....	42
Figura 11 – Síntese do di-amil éter (DAE) .....	47
Figura 12 – Sistema de reação da síntese do di-amil éter .....	48
Figura 13 – Sistema de purificação do (DAE) .....	49
Figura 14 – Fatores competitividade .....	50
Figura 15 – Direcionadores de competitividade .....	52
Figura 16 – Princípios e critérios RSB.....	56
Figura 17 – Estrutura do controlador lógico <i>Fuzzy</i> .....	59
Figura 18 – Procedimentos da pesquisa .....	61
Figura 19 – Fluxograma da pesquisa .....	63
Figura 20 – Hierarquia do estudo.....	65
Figura 21 – Fluxo do processo de avaliação .....	68
Figura 22 – Procedimento da AHP .....	69
Figura 23 – Hierarquia de critérios .....	70
Figura 24 – Variáveis <i>Fuzzy</i> .....	73
Figura 25 – Funções triangulares .....	74
Figura 26 – Critérios priorizados .....	77
Figura 27 – Base de regras .....	82



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise dos autores I.....	35
Quadro 2 – Análise dos autores II .....	36
Quadro 3 – Análise dos autores III.....	37
Quadro 4 – Análise dos autores IV .....	38
Quadro 5 – Análise dos autores V .....	39
Quadro 6 – Direcionadores de competitividade .....	53
Quadro 7 – Critérios do estudo .....	66
Quadro 8 – Elementos do processo .....	68
Quadro 9 – Definição das variáveis.....	79
Quadro 10 – Domínios de intervalo.....	80
Quadro 11 – Eventos possíveis.....	81
Quadro 12 – Interpretação dos resultados da lógica <i>Fuzzy</i> .....	84





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala de Saaty .....	71
Tabela 2 – Índice de consistência .....	72
Tabela 3 – Comparação entre critérios .....	76
Tabela 4 – Autovalor e vetor normalizado .....	76
Tabela 5 – Índices de consistência .....	77
Tabela 6 – Resultados físico químico QAV-1 e DAE.....	86
Tabela 7 – Resultados de ensaios em formulações.....	87
Tabela 8 – Escala de Saaty .....	112
Tabela 9 – Análise dos critérios .....	112



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process.</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil.
ANP	Agência Nacional do Petróleo.
ATSM	American Society for Testing and Materials.
CNT	Confederação Nacional do Transporte.
CORSIA	<i>Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation.</i>
DAE	Composto oxigenado di-amil éter.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética.
GEE	Gases de efeito estufa.
GOL	Companhia aérea brasileira.
QFD	Desdobramento da Função Qualidade.
HMF	Molécula hidroximetilfurfural.
ICAO	International Civil Aviation Organization.
MCDM	Multiple-criteria decision-making.
UBRABIO	União Brasileira de Biodiesel e Bioquerosene.
MME	Ministério de Minas e Energia.
NRC	<i>National Research Council.</i>
PNB	Política Nacional de Biocombustíveis.
PNPB	Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel.
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Álcool.
COP-21	Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015.
QAV-1	Querosene de aviação comercial.
OPEP	Organização os Países Exportadores de Petróleo.
RenovaBio	Programa Nacional de Biocombustíveis.
RSB	<i>International Sustainability and Biomaterials Certification.</i>
SPG	Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
IATA	Associação Internacional de Transporte Aéreo.
IRENA	Agência Internacional para as Energias Renováveis.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
1.1	MOTIVAÇÃO .....	23
1.2	OBJETIVO GERAL .....	25
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
1.4	JUSTIFICATIVA.....	25
1.5	ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO.....	28
<b>2</b>	<b>CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>29</b>
2.1	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA .....	29
<b>2.1.1</b>	<b>Considerações finais da análise bibliométrica</b> .....	<b>43</b>
2.2	BIOCOMBUSTÍVEIS: OBTENÇÃO E UTILIZAÇÃO.....	43
2.3	ANÁLISE DE CENÁRIO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS .....	45
2.4	PRODUÇÃO DO DI-AMIL ÉTER (DAE) COMO BIOCOMBUSTÍVEL PARA AVIAÇÃO .....	46
2.5	COMPETITIVIDADE .....	50
2.6	COMPETITIVIDADE EM BIOCOMBUSTÍVEIS.....	51
<b>2.6.1</b>	<b>Agências certificadoras e partes interessadas</b> .....	<b>54</b>
2.7	MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO .....	57
<b>2.7.1</b>	<b>Método <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP)</b> .....	<b>58</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Sistema da Lógica <i>Fuzzy</i></b> .....	<b>59</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODO DA PESQUISA</b> .....	<b>61</b>
3.1	FLUXOGRAMA DA PESQUISA.....	62
3.2	CENÁRIO DA PESQUISA .....	63
3.3	INSTRUMENTO DA PESQUISA .....	64
3.4	HIERARQUIA DO ESTUDO .....	65
3.5	MÉTODO AHP.....	68
3.6	ABORDAGEM LÓGICA <i>FUZZY</i> .....	72
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>75</b>
4.1	PÚBLICO ALVO .....	75
4.2	DESENVOLVIMENTO DO AHP .....	75
4.3	ABORDAGEM LÓGICA <i>FUZZY</i> .....	78
4.4	IMPLEMENTAÇÃO E AÇÕES PROPOSTAS.....	83
4.5	DISCUSSÃO DE RESULTADOS E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	85
4.6	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS .....	86
4.7	CUSTOS DE PRODUÇÃO .....	87
4.8	MEDIDAS POLÍTICAS .....	88
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DO BIOCOMBUSTÍVEL DI-AMIL ÉTER (DAE)</b> .....	<b>109</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Estimulado por problemas ambientais e a evidência do desequilíbrio entre o desenvolvimento econômico e do meio ambiente em que o planeta se encontra hoje em dia, os seres humanos necessitam de um ciclo de mudanças, sobretudo na forma atual de gerar energia. Hoje existem sérios problemas de proporção global como a poluição e a emissão de gases de efeito estufa, temas frequentes quando o assunto é saúde do planeta. Nesse panorama, a geração de energia por fontes alternativas é considerada uma solução viável a curto e médio prazo.

Dentre as energias limpas, os biocombustíveis como o etanol, biodiesel e bioquerosene vem crescendo como alternativas de oferta energética. O elevado crescimento da demanda dos biocombustíveis ocorre em grande parte, devido ao seu potencial natural de aproveitamento dos recursos naturais sem degradá-los, possibilitando que os biocombustíveis se tornem uma alternativa de substituição aos combustíveis fósseis (DELGADO et al., 2017; MELO, 2018).

Os biocombustíveis são derivados de matéria orgânica (biomassa), sendo possível citar como principal benefício o balanço de CO<sub>2</sub> favorável quando comparado a combustíveis fósseis e também não são conflitantes com outras fontes de subsistência (MELO, 2018). Assim, a representação na matriz energética só tem avançado tanto no mercado brasileiro como no mercado mundial. Os avanços em energia renovável é uma ação necessária e irreversível para o bem do planeta (AZEVEDO; AZEVEDO LIMA, 2016; BARROS, 2019; MASIERO; LOPES; BRONZATTI; IAROSINSKI NETO, 2008).

Quando o assunto é combustíveis para a aviação, o setor tem demonstrado interesse nos biocombustíveis. Uma das principais causas dessa atração tem sido a necessidade de cumprir as metas de redução de emissão de poluentes. O setor de aviação gera aproximadamente 2% das emissões de gases de efeito estufa globais com projeção de aumento a 3% até 2030 caso não houver uma mudança (ICAO, 2016; SEARLE et al., 2019; VILT, 2017). Entretanto, a indústria de aviação possui metas ambiciosas de redução da emissão de poluentes de 50 a 80% com a utilização de combustíveis alternativos ou também chamados de biocombustíveis (ICAO, 2016). Por isso, a utilização de fontes de energia sustentáveis é uma opção válida, que beneficia tanto a ampliação da indústria de aviação como também reduz o percentual de emissões de poluentes (DENA et al., 2019; MILANEZ et al.; SILVA; VILT, 2017).

Dentre muitas vantagens dos biocombustíveis podem-se citar: diminuição da poluição na queima e no processamento; possibilitando o cultivo, então, são renováveis; incrementam

os empregos na cadeia produtiva; minimizam a dependência em relação aos combustíveis fósseis; fortalecem a balança comercial do país; incrementam o desenvolvimento sustentável. Em oposição a expansão dos biocombustíveis pode-se citar algumas desvantagens: necessidade de áreas agricultáveis (podendo intensificar o desmatamento para expansão); podem interferir no preço dos alimentos (ao trocar a produção de alimentos por biomassa) (AZEVEDO; AZEVEDO LIMA, 2016; DATTA et al., 2019; HEO; CHOI, 2019).

Analisando o cenário global, Estados Unidos e países da União Europeia contam com acordos e subsídios para impulsionar o setor de biocombustíveis. Desde 2006 com o fortalecimento da utilização de recursos renováveis, os Estados Unidos criaram o *Energy Independence and Security Act*, mandato que exigiu a produção de 36 bilhões de galões de biocombustíveis, sendo 15 bilhões apenas de etanol até 2022 (HERTEL; TYNER; BIRUR; BIRUR, 2010). Na União Europeia não foi diferente, impulsionado pelo *The European Union Biofuels Directive* (BFD) os estados membros necessitaram ampliar a produção em uma cota de 10% para os biocombustíveis até 2020 (BANSE et al., 2008). Essas informações acima, em sua maioria, refletem a resposta dos países ao aumento dos preços de combustíveis fósseis atribuídos pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) (HUANG et al., 2012).

Silva (2017) cita como os três maiores produtores e consumidores de biocombustíveis em 2012, respectivamente, Estados Unidos, Brasil e Alemanha. Esses países produziram respectivos, 921, 423 e 65 mil barris/dia.

Os Estados Unidos se destacam na produção e consumo de biocombustíveis, sendo mais que o dobro da produção brasileira. Os países da União Europeia, sobretudo, Alemanha e França também produzem muito biocombustível, mas necessitam importar de outras regiões para atender a demanda interna (HERTEL; BALDOS, 2016; SILVA, 2017).

No setor de aviação, os biocombustíveis ou também chamados de bioquerosene estão presentes. Esse setor considerado novo quando comparado a outros mercados de biocombustíveis, porém já apresenta metas rígidas. A COP-21 estabeleceu um consumo em torno de 8,3 a 12,4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq (CO<sub>2</sub> equivalente) em 2030, isso representa de modo aproximado entre 3750 a 5600 mil toneladas de bioquerosene. Assim, o setor de aviação além de possuir um alto potencial de expansão também está preocupado em atingir as metas para crescer de forma sustentável (ICAO, 2016; SILVA, 2017).

O impacto do tema biocombustível de aviação nas pesquisas acadêmicas vem evoluindo ano após ano. Apenas na base *Scopus*, no período de 2018, foi possível constatar os países que mais publicaram com esse tema. Os países que mais publicaram nesse período



respectivamente foram: Estados Unidos (21), China (10), Austrália (10) e Brasil (6). Esses estudos em sua maioria apresenta o desenvolvimento de novas tecnologias, melhorias de processos e novas matérias-primas em biocombustíveis. Nos próximos parágrafos serão descritos a evolução de quatro trabalhos, publicados por autores do Estados Unidos e Brasil.

Ravi et al. (2019) avaliaram os possíveis impactos regionais e locais da qualidade do ar, saúde pública, bem como os benefícios que podem ser alcançados por uma potencial redução de emissões de gases de efeito estufa em um cenário em que a biomassa (com base em resíduos florestais) é escolhida para conversão em biocombustível. Leavitt et al. (2018) estudaram o desenvolvimento de uma infraestrutura adequada para receber e armazenar biocombustível de aviação no aeroporto de Seattle. Foram avaliados meios para reduzir o custo do biocombustível comparado ao combustível de origem fóssil, abordando viabilidade e o financiamento da infraestrutura.

Souza et al. (2018) avaliaram o uso do biojato no cenário do mercado brasileiro para reduzir a emissão de gases de efeito estufa, abordando as iniciativas para promover o mercado e também as incertezas a serem superadas. Monção et al. (2018) analisaram a integração de microalgas e biocombustíveis nas cadeias produtivas. Foram descritas iniciativas para explorar efluentes ou coprodutos das cadeias produtivas de bioetanol e biodiesel para uso como fonte de nutrientes para o cultivo de microalgas sendo uma alternativa viável para suprir demandas do setor automotivo, aviação e energia.

No próximo tópico é apresentado a motivação do estudo em biocombustíveis.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Hoje em dia, as discussões sobre o futuro dos combustíveis para aviação estão com o foco principal na questão de emissão de poluentes (BLUHM et al., 2015; HENKES; PADUA, 2017). Por meio de aditivos (substâncias adicionadas aos combustíveis em determinadas quantidades) o setor encontrou uma forma rápida e segura para atingir os objetivos. A Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO), aprovou no dia 6 de outubro de 2016, o *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (CORSIA) que entrará em efetividade em 2020. Esse dispositivo quando entrar em vigor, irá estabelecer à indústria de aviação civil internacional, a neutralizar ou compensar as emissões de CO<sub>2</sub> e/ou GEE – gases do efeito estufa) acima da linha de crescimento neutro de carbono. Isso representa uma redução média na emissão de poluentes de 2% ao ano até 2020 (BAUEN; NATTRASS, 2018; HARI; BINITHA, 2015; ICAO, 2016; LARSSON et al., 2019; VILT, 2018).

A produção de éteres combustíveis (aditivos) a partir da reação de álcoois e oleofinas iniciou em 1907, sendo de pouco interesse para a indústria naquele período. Em 1930, com melhor conhecimento das propriedades dos compostos oxigenados, foram criados alguns éteres ramificados, como o MTBE (metil terc-butil éter), TAME (terc-amil metil éter) e ETBE (etil terc-butil éter) entre outras combinações de éteres. Esses éteres ganharam importância com a crise do petróleo em 1970, avançando as pesquisas com misturas no diesel/etanol. O composto di-amil éter (DAE) motivação para este estudo surgiu em 2010, em testes em formulações com gasolina, diesel e por fim em querosene de aviação. Até a elaboração deste estudo, o DAE não possuía um aditivo concorrente que fosse testado com o querosene de aviação (QAV-1).

A partir de 2020 em diante o setor de aviação deve atender o crescimento neutro de carbono. A aviação civil possivelmente irá aumentar a oferta de voos ao longo dos anos, entretanto sua expansão não poderá crescer a emissão poluentes. Uma outra alternativa de compensação de carbono (ainda em debate na ICAO) é a criação de um sistema para o mercado de crédito de carbono, a fim de compensar as emissões de CO<sub>2</sub> que estiverem acima da meta.

Os biocombustíveis são o foco da indústria de aviação. Entretanto, seu crescimento ainda é lento. Isso em maior parte ocorre porque não há uma indústria de biocombustíveis exclusivo para o setor de aviação (GÖSSLING et al., 2019; TEIXEIRA et al., 2016). Além disso, o desafio dos biocombustíveis é o alto custo de produção sendo até 4 vezes mais quando comparado ao querosene de aviação. Desde 2012, por exemplo, a companhia aérea GOL possui um programa que busca alavancar a construção de uma cadeia de valor para o bioquerosene sendo esta uma aposta a longo prazo (ICAO, 2016; TEIXEIRA et al., 2016). Assim, a indústria de aviação tem buscado de modo constante utilizar em maior escala os combustíveis alternativos, especial os de origem vegetal devido as inúmeras vantagens. Somando-se a isso, a meta do transporte aéreo internacional é que até 2050 metade dos voos realizados sejam com combustível de fonte renovável.

Um mercado em expansão como os biocombustíveis para aviação demanda de inovações, estudos, tecnologias e ferramentas que apoiem as decisões sob um ponto de vista sustentável e também econômico-financeiro. Analisar o projeto sobre diversas perspectivas e identificar fatores críticos no processo é essencial para o sucesso. Enfim, para atender uma demanda, um produto deve ser eficiente e possuir todas as características que o mercado procura. Todas essas questões e muitas outras são necessárias para que um produto obtenha êxito no mercado competitivo.

Esse estudo visa colaborar com a necessidade de expandir a utilização de biocombustíveis por meio de avaliação da competitividade de um biocombustível para ser utilizado como aditivo no combustível de aviação. O termo aditivo para combustível é necessário pois a Agência Nacional de Petróleo (ANP) determina que qualquer bicombustível certificado apenas pode operar de forma legal com uma fração de mistura em combustível fóssil. Assim, por meio do julgamento de critérios, foi possível descobrir qual o nível de competitividade que o biocombustível estudado se encontra. Além disso, caso necessário, busca-se propor alternativas para melhorar a competitividade do composto.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar a competitividade do composto oxigenado di-amil éter (DAE) para ser utilizado como um aditivo na formulação de biocombustíveis de aviação.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar a bibliografia sobre biocombustíveis utilizados na aviação, produção e tecnologias envolvidas no processo;
- Definir critérios que influenciam na competitividade do biocombustível di-amil éter (DAE);
- Verificar na bibliografia vigente métodos de tomada de decisão para solução de problemas;
- Avaliar por meio de abordagem multicritério e lógica *Fuzzy* o nível de competitividade do biocombustível;
- Mensurar as barreiras a serem superadas e os critérios mais críticos para melhora competitividade.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Este estudo buscar atender três perspectivas de justificativa: acadêmica, econômica e ambiental. O Brasil possui um destaque internacional quando se refere a discussões e negociações acerca das mudanças climáticas. O país fomenta a utilização de fontes renováveis, com forte ênfase aos biocombustíveis (EPE, 2018a).

Os biocombustíveis estão ampliando as pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias. A procura por energia alternativa fez com que pesquisas em matérias-primas, rotas de conversão, características físico-químicas entre outros campos de pesquisa ganhassem importância para a academia. Encontrar um biocombustível que substitua o combustível de origem fóssil, sendo renovável e que emita menos poluentes, exige muita pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias (LIMA; SOGABE; CALARGE, 2014; MENDES, 2015).

Em função do comprometimento para minimizar a emissão de gases de efeito estufa (GEE), o país busca avançar nas políticas e nas tecnologias para atingir esse feito (MAGALHÃES, 2013; VITAL, 2018). Nesse contexto, pode-se citar o Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), desenvolvimento de veículos *flex*, entre outros incentivos governamentais, fazendo com que a matriz energética brasileira seja eficiente e sustentável (EPE, 2016b).

A preocupação ambiental também fomenta a pesquisa e o desenvolvimento de biomateriais para atender a demanda de uma economia de baixo carbono (EPE, 2017a). Ainda com foco na indústria de biocombustível pode-se destacar que o Brasil possui uma inequívoca experiência com a inserção de biocombustíveis na matriz energética, somado a isso, o desenvolvimento de regras de comercialização (ANP, 2017; AZEVEDO; AZEVEDO LIMA, 2016; LEITE; LEAL, 2007).

O país possui procedimentos que superam vários desafios técnicos e econômicos para a inserção de novos biocombustíveis, como por exemplo: definição de políticas para regulamentação, pesquisa, inovação, especificação formal dos biocombustíveis ofertados entre outras informações (ANP, 2017; CHAGAS, 2012; EPE, 2017a). Colabora-se com esse fato, a criação, em dezembro de 2017, por meio da Política Nacional de Biocombustíveis (PNB), o RenovaBio.

Por meio da Lei nº 13.576/17, o RenovaBio busca atender os seguintes objetivos: contribuir com a melhoria da eficiência energética e de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), contribuição com a produção e expansão do uso de biocombustíveis e também melhorar a participação do mercado nacional de biocombustíveis por meio de certificações.

O RenovaBio também promete agilizar a regulamentação de novos biocombustíveis, fornecendo as regras e os critérios necessários para a comercialização. Esse ato tem como objetivo permitir impulsionar a expansão da produção e o consumo de biocombustíveis no Brasil. Ademais, o processo de certificação dos biocombustíveis será mais ágil, pois o

programa irá desenvolver procedimentos e regras que todos os novos biocombustíveis deveram atender. O RenovaBio irá aperfeiçoar as técnicas já concretizadas de certificação e também inovará com novos mecanismos de produção e comercialização promovendo eficiência, competitividade e segurança nos biocombustíveis (AMARAL; MELO, 2018; EPE, 2017a).

A indústria de aviação também está muito interessada nos novos biocombustíveis. Com a necessidade de encontrar novos caminhos para reduzir as emissões de carbono em virtude dos protocolos e acordos internacionais. Os combustíveis alternativos, como também são chamados, prometem atender essa necessidade melhorando a eficiência das aeronaves e reduzindo a emissão de gases de efeito estufa de 50 a 80% quando comparado ao tradicional querosene de aviação tradicional (QAV-1) (GARBIN; HENKES, 2018; IATA, 2017). Entretanto, um dos grandes desafios para o setor de biocombustíveis de aviação é a não geração de concorrência com a produção alimentar. Sabe-se que a biomassa possui grande potencial quando ela é utilizada como matéria-prima para os biocombustíveis. Entretanto, a biomassa exige terras para cultivo e uma das regulamentações da *Roundtable on Sustainable Biomaterials* (RSB) é a não concorrência dessas terras com terras que produzem alimentos (RSB, 2016). Além disso, ainda não há um estudo comprovando o impacto, no longo prazo, da utilização de terras para a produção de biomassa considerando a utilização dos recursos hídricos, solo e a biodiversidade (CORTEZ et al., 2013).

Considerando o mercado nacional, o Brasil é reconhecido internacionalmente pela experiência no uso da biomassa no setor energético, representa em torno de 30% da matriz energética. O país possui um avanço significativo nas políticas para a conciliação de produção de biocombustíveis e segurança alimentar. Sabendo desse potencial, as indústrias do setor aeronáutico e as companhias aéreas estão com a atenção voltada para o Brasil, pois o país possui forte potencial para o desenvolvimento de novos biocombustíveis (VILT, 2017).

Diante de todas essas informações, o estudo da competitividade do biocombustível di-amil éter (DAE) justifica-se em boa parte por ser uma energia renovável com potencial de substituir o uso de querosene tradicional (QAV-1) na aviação. Além disso, atende as três perspectivas de justificativas mensuradas antes: acadêmica, econômica e ambiental.

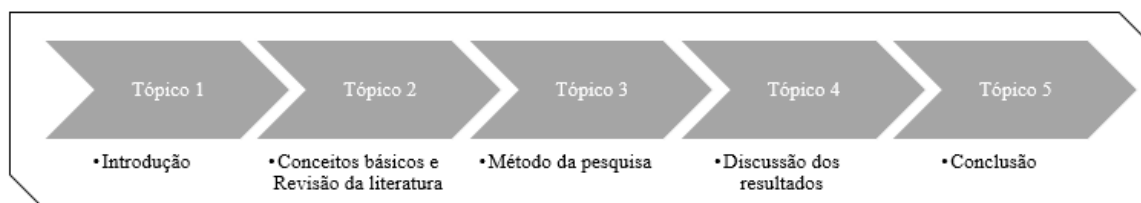
Esse estudo, apoiado nas três justificativas, busca descobrir se o biocombustível di-amil éter (DAE) é competitivo e se apresenta potencial para ser um biocombustível de aviação a ser incorporado na matriz energética brasileira. Afirma-se também que a escolha específica do di-amil éter para o desenvolvimento deste estudo justifica-se por atender as características mensuradas nos tópicos (introdução e motivação) e também pelo pesquisador possuir contato

com os especialistas que patentearam o composto. Sabe-se que atender o crescimento da demanda por transporte e simultaneamente minimizar os impactos da emissão de gases de efeito estufa em um curto e médio prazo, apenas é possível por meio da produção e utilização de biocombustíveis (CORTEZ et al., 2013; EPE, 2005a; GAZZONI, 2014; LEITE, 2007; MELO, 2018; SIGNOR et al., 2014).

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

Para alcançar os objetivos estabelecidos para o estudo, esta pesquisa foi estruturada em cinco tópicos. A Figura 1 ilustra a organização do estudo.

Figura 1 – Organização do estudo



Fonte: Autor (2020).

O estudo está organizado em cinco tópicos: Introdução; Conceitos básicos e revisão da literatura; Método da pesquisa; Discussão dos resultados e Conclusão. A partir de agora inicia-se o tópico 2 e os demais tópicos na sequência.

## 2 CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO DA LITERATURA

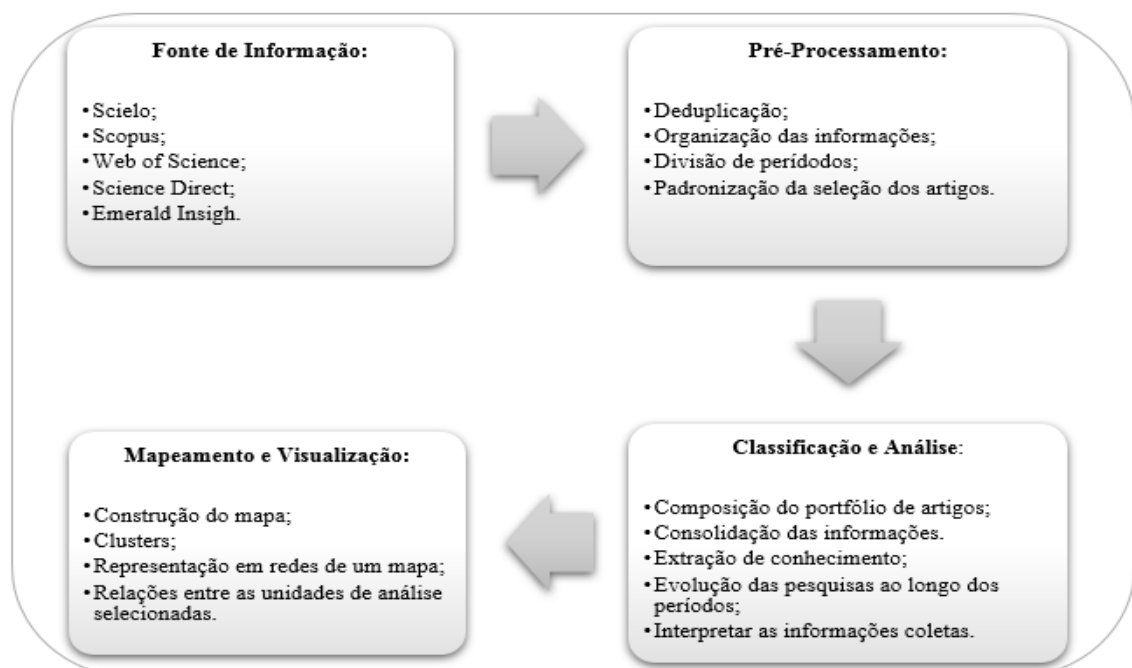
Na presente seção, serão apresentados os conceitos básicos e a revisão teórica da qual se visa apoiar para que a pesquisa alcance os objetivos definidos, aliado a isto a demonstração das devidas contribuições dos autores especialistas sobre o tema pesquisado. Entretanto, primeiro é apresentada a análise bibliométrica da pesquisa onde se busca construir indicadores sobre a dinâmica de evolução das informações científicas da utilização de modelos multicritérios para a solução de problemas na produção de biocombustíveis.

### 2.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Nesse tópico, é apresentada a análise bibliométrica da pesquisa, criada por meio dos softwares *Endnote*, *VOSviewer*. Para isso, selecionou-se cinco bases de publicações: *Springer*, *Scopus*, *Web of Science*, *Science Direct* e *Emerald Insigh*. Essa análise tem como objetivo explorar nas maiores bases de pesquisas a evolução de trabalhos na área de energia renovável e método multicritério AHP.

O fluxo de trabalho necessário para realizar a análise das informações é apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Definição de protocolo de pesquisa bibliométrica



O protocolo seguido para construir a análise bibliométrica seguiu os seguintes passos: fonte de informação, pré-processamento, mapeamento e visualização, classificação e análise. Primeiro, para realizar as buscas nas bases, utilizou-se a combinação de palavras-chave listadas logo abaixo. Além disso, foram utilizados os seguintes critérios para delimitar a pesquisa:

- Palavras-chave independente do período de publicação nas bases definidas;
- Palavras-chave foram pesquisadas no “resumo” ou “*abstract*” de cada publicação;
- O conectivo de adição “*and*” foi utilizado para combinar as palavras-chave;
- Palavras-chave foram pesquisadas no idioma inglês;
- O mesmo método de pesquisa foi adotado em todas as cinco bases examinadas;
- Todos os artigos encontrados no buscador de cada uma das cinco bases de pesquisa foram computados.

A combinação de palavras-chave que foram utilizadas para a pesquisa são as seguintes: “*Biofuel production*”; “*Aviation biofuel*”, “*Ether characterization*”, “*Aviation kerosene*”, “*Multi-criteria AHP*”.

Nas Figura 3 e a Figura 4 estão representadas o número de artigos encontrados nas cinco bases pesquisadas, obtido por meio da busca das palavras-chave e as relações de combinação, representado as fontes de informações.

Figura 3 – Pesquisa nas bases Web of Science e Springer

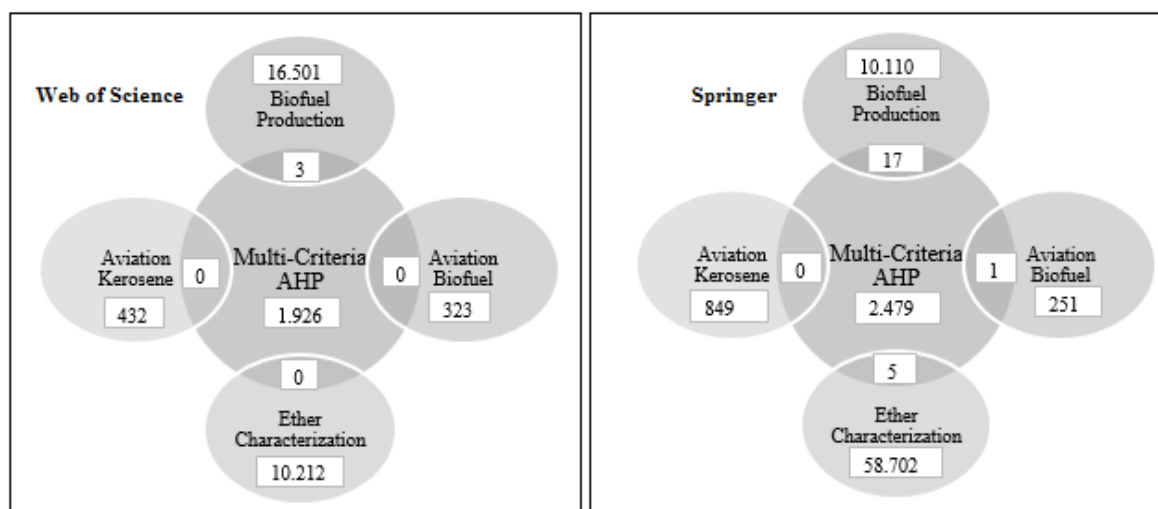




Figura 4 – Bases de publicações: Scopus, Emerald Insight e Science Direct



Fonte: Autor (2019).

Diante dessas informações o próximo passo é fazer o pré-processamento que é apresentado no próximo parágrafo.

Ao analisar os artigos lendo seus resumos e as palavras-chave, eliminou-se arquivos duplicados e também foram eliminados artigos que não estavam alinhados com o tema desta pesquisa. A base *Science Direct*, apresentou o maior número de publicações, quando se buscou de modo isolado a palavra-chave “*Multi-criteria AHP*” foi encontrado um total de 7.265 artigos. Salienta-se que a base *Science Direct*, quando comparada com as outras quatro bases pesquisadas, foi o local que apresentou uma maior quantidade de artigos publicados de acordo com as palavras chave definidas.

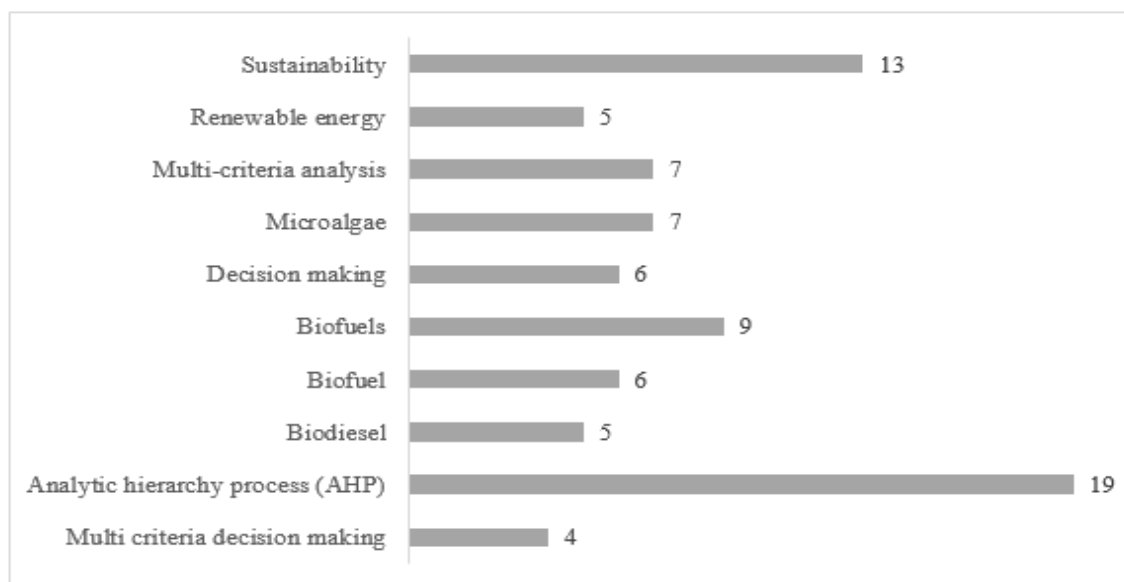
Considerando o resultado nas cinco bases pesquisadas, tem-se 215 artigos ao se combinar as palavras-chave “*Multi-criteria AHP*” com “*Biofuel Production*”, “*Aviation Kerosene*”, “*Ether Characterization*” e “*Aviation Kerosene*”. Desse total, a maior parte, ou seja, 158 artigos estão na base *Science Direct*, resultado encontrado ao combinar os termos

“Multi-criteria AHP” e “Biofuel Production”. Salieta-se que houve uma limitação na consolidação do portfólio final de artigos ao restringir a busca nos métodos multicritérios ao utilizar a palavra-chave “Multi-criteria AHP”. Isso ocorreu, pois, o autor queria descobrir, exclusivo, como o método AHP se comportava nas pesquisas quando combinado com as demais palavras-chave.

A partir dos 215 artigos encontrados nas cinco bases pesquisadas, o próximo passo foi fazer a classificação e análise dessas informações. A consolidação final dos artigos, ou seja, os artigos que estão mais próximos com a pesquisa. Classificou-se 73 artigos distribuídos nas cinco bases de publicações, esse número representa o portfólio final e o início das análises e interpretações.

Localizou-se um total de 474 palavras-chave distribuídas nos 73 artigos selecionados. Diante do elevado número de informações, sendo a maioria com apenas uma ocorrência de repetição, optou-se por destacar as palavras-chave que se repetiram no mínimo 4 vezes. Assim, as palavras-chave mais citadas nos resumos dos artigos estão demonstradas na Figura 5.

Figura 5 – Palavras-chave mais citadas



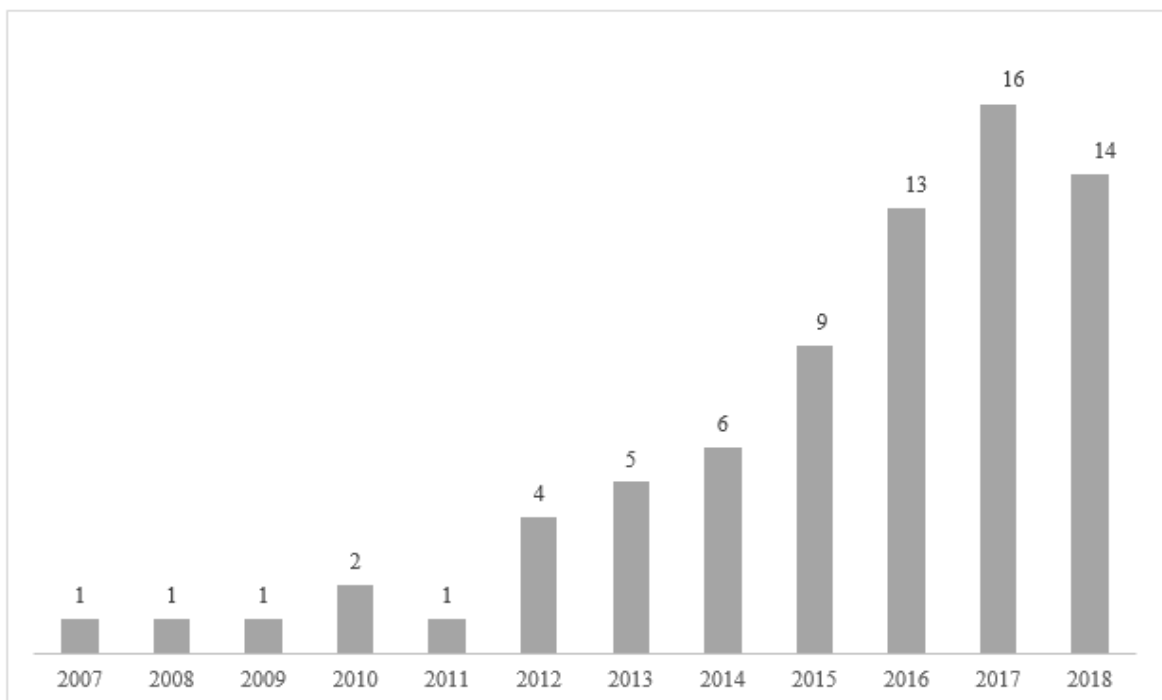
Fonte: Autor (2019).

Observa-se que o termo “Analytic hierarchy process (AHP)” foi o mais influente como palavra-chave nos artigos, 19 ocorrências. A sustentabilidade representou um número significativo de ocorrências com 13 repetições, isso representa a importância desse tema em benefício da saúde do planeta. O terceiro termo de significativa ocorrência é o “Biofuel” e

“*Biofuels*” sendo possível mesclá-los para uma melhor compreensão, juntos representam uma ocorrência de 15 repetições, sendo considerado elementos de fontes renováveis de energia. Portanto, vários artigos utilizaram os modelos multicritérios avaliando biocombustíveis e bioenergia como o objetivo de auxiliar na tomada de decisões.

Considerando o período de publicação, salienta-se que não foi definido um período específico, foram buscadas as palavras-chave nas cinco bases de pesquisa sem um limitador fixo de períodos que houberam publicações. Na Figura 6, tem-se a demonstração da evolução dos períodos de publicações dos 73 artigos.

Figura 6 – Períodos das publicações

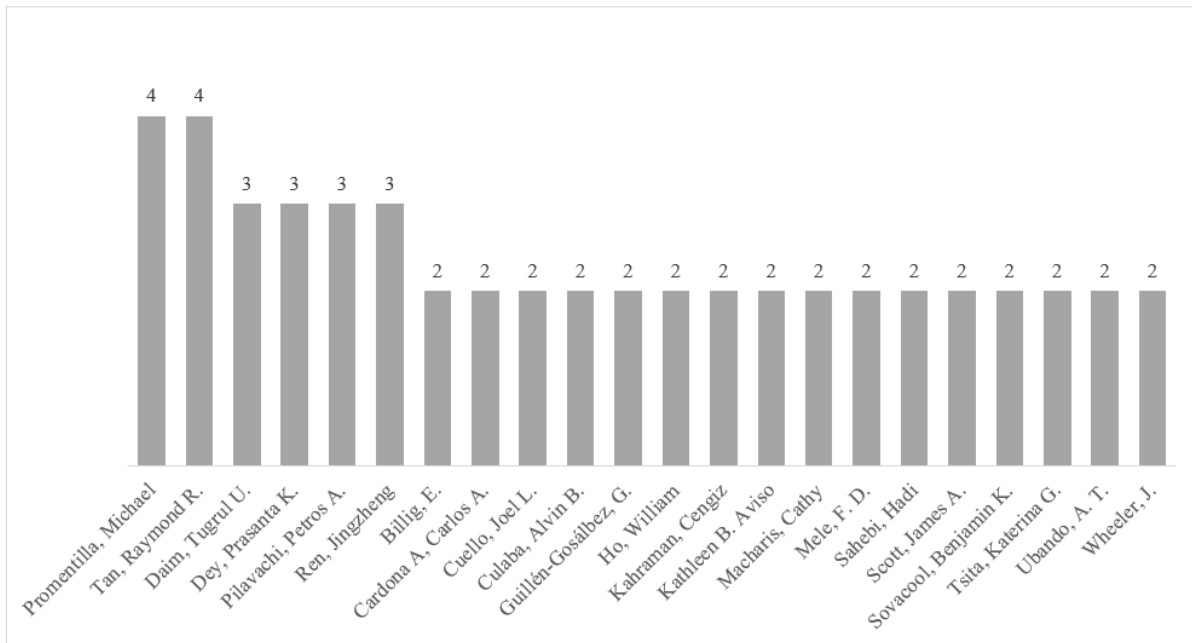


Fonte: Autor (2019).

Observa-se que a partir de 2012, houve um acréscimo expressivo no número de publicações. Esse fenômeno, em parte, é representado pelo crescimento de pesquisas relacionadas com preocupação ambiental e geração de energia renovável.

Ao analisar os autores desses 73 artigos, foram encontrados um total de 244 autores. Diante do elevado número de informações, optou-se por selecionar os autores os que utilizaram modelos multicritérios e que foram citados no mínimo 2 vezes. Portanto, chegou-se a 22 autores que estão representados na Figura 7.

Figura 7 – Autores analisados



Fonte: Autor (2019).

Os autores mais citados, com 4 citações são: “Promentilla, Michael Angelo B.” e “Tan, Raymond R.”. Esses 2 autores utilizaram o AHP para a tomada de decisão com o objetivo de produção ou melhoramento de processos nas fontes de energia limpa e também em sustentabilidade dos compostos. Nos 5 artigos com a presença desses 2 autores, cabe ressaltar que a maior representação de pesquisas envolve o cultivo de algas para a geração de biocombustíveis. Um dos estudos em questão, por exemplo, estabeleceu os seguintes critérios: impacto ambiental, consumo de energia, viabilidade econômica, considerações técnicas e aceitabilidade social. Desses critérios elaborou-se diversos subcritérios com o objetivo de avaliar qual era o sistema mais eficiente para cultivo das algas como biocombustível.

Com 3 citações os autores são os seguintes: “Daim, Tugrul U.”, “Dey, Prasanta K.”, “Pilavachi, Petros A.” e “Ren, Jingzheng”. Desses autores foram encontrados 7 artigos, em todos eles utilizaram-se modelos multicritérios para a solução de um objetivo. Sendo 4 artigos apenas com o AHP e os restantes o AHP foi combinado com outros modelos multicritérios, por exemplo, Fuzzy-AHP e PROMETHEE. Cabe salientar que 3 dos 7 artigos encontrados com esses autores, foi utilizado modelos multicritérios nas situações: medição de desempenho energético, segurança energética e seleção de melhores recursos energéticos.

Com a publicação de Scott, Ho e Dey (2012) foi encontrado 1 artigo que fornece a revisão de métodos multicritérios aplicados em sistemas de bioenergia. Com os autores Chen

e Ren (2018) foi encontrado 1 artigo envolvendo biocombustível na aviação, por meio do modelo multicritério ANP e lógica *Fuzzy*, onde foi possível medir a sustentabilidade dos combustíveis alternativos de aviação. Ainda, denota-se que foram avaliados 4 biocombustíveis: refino de petróleo, *Fischer-Tropsch* baseado em gás natural, combustível à base de algas e combustível à base de soja. Com os resultados foi possível criar uma ordem de sustentabilidade desses combustíveis avaliados sendo do melhor para o pior, determinado com base na preferência de três grupos de partes interessadas.

Nos Quadro 1 a 5 estão as publicações que mais impactaram nessa análise bibliométrica, com a utilização do modelo multicritério AHP combinado ou não com outros modelos multicritério para a tomada de decisão na produção de biocombustíveis.

Quadro 1 – Análise dos autores I

<b>Publicações</b>	<b>Objetivos</b>
Billig & Tharaen (2017)	Avaliar os aspectos técnicos e econômicos dos conceitos emergentes no campo de tecnologia para a produção de metano renovável a partir da biomassa por meio do modelo multicritério AHP.
Cardona A, Carlos A. et al. (2015)	Avaliação técnico-econômica e ambiental de uma biorrefinaria à base de bagaço de cana de açúcar e hastes de corte de café. Por meio do AHP foi avaliado diferentes níveis, rotas de conversão, distribuição de matéria-prima e tecnologias para produzir etanol, octano, nonano, furfural e hidroximetilfurfural (HMF).
Daim, Tugrul et al. (2010)	Avaliou-se as fontes de energia (carvão, petróleo, gás natural, energia nuclear) e também alguns recursos energéticos renováveis como possíveis alternativas energéticas para a matriz da China por meio do uso de um modelo de decisão hierárquica (AHP).

Fonte: Autor (2019).

Desses três artigos foi possível observar como os autores utilizaram métodos multicritérios para tomada de decisão. No trabalho de Billig & Tharaen (2017) o objetivo era encontrar um novo substrato sustentável para substituir o gás natural (GN) na Europa. Os autores definiram os vários critérios bioquímicos, termoquímicos e políticos para a produção de metano renovável a partir da biomassa. Foi descoberto que a escolha do substrato é um fator crítico para comparação com outras tecnologias. Assim, os autores concluíram que a palha foi substrato que mais respeitou os critérios sendo adequado para produção de biometano e bio-SNG.

Os autores Cardona A, Carlos A. et al. (2015) avaliaram uma biorrefinaria a base de cana de açúcar e hastes de café nos aspectos técnico-econômico. Os autores elaboraram cinco cenários com duas matérias-primas utilizando método multicritério encontraram qual é a

melhor alternativa para a configuração da biorefinaria. Os principais produtos eram etanol, octano e nonano e secundários furfural e HMF. A fábrica deveria produzir 5 toneladas/hora. Do ponto de vista econômico a produção de etanol, furfural e octanas foi o cenário mais rentável. Além disso, a conversão dessas matérias-primas em etanol pode ser utilizada em combustíveis de aviação.

Já os autores Daim, Tugrul et al. (2010) por meio de método multicritério buscam um substituto sustentável para a energia a base de carvão na China. Utilizando os critérios: disponibilidade, infraestrutura energética atual, preço, segurança, impactos ambientais e impactos sociais; e as alternativas: carvão, petróleo, gás natural, energia nuclear e energia renovável. A partir dos resultados os autores descobriram que o carvão ainda é muito abundante e valorizado pelo povo chinês, porém no quesito segurança e impacto ambiental é uma energia muito poluidora. A energia renovável foi apontada como a melhor escolha, entretanto pela realidade da infraestrutura do país o carvão limpo tem prioridade para o governo.

#### Quadro 2 – Análise dos autores II

Publicações	Objetivos
Macharis, Cathy et al. (2018)	Comparação com os biocombustíveis de primeira e segunda geração, o biodiesel de microalgas pode contribuir para atender aos objetivos de sustentabilidade no setor de transporte na França?
Angelo B. Promentilla et al. (2016)	Avaliar as implicações da implementação do programa obrigatório de mistura de bioetanol no Vietnã, usando mandioca e cana-de-açúcar como matéria-prima. Os cenários medem a vulnerabilidade dos setores econômicos considerando a possibilidade de desastres. A proposta aborda três métricas: incidência de tufões, inundações e infestação de pragas.
Hadi Sahebi et al. (2016)	Planejar uma cadeia de fornecimento de biodiesel baseada em microalgas. A macro etapa realiza uma filtragem espacial usando <i>Geographic Information System</i> (GIS) e o modelo AHP é utilizado para identificar os locais candidatos mais adequados para estabelecer instalações de produção de biodiesel.

Fonte: Autor (2019).

Os autores Macharis, Cathy et al. (2018) investigaram se o biodiesel a base de microalgas pode ser competitivo em comparação com a primeira geração de biocombustíveis no setor portuário da França. Por meio de avaliação multicritério as partes interessadas foram consultadas para elaboração dos critérios. Colaborando com o método os autores utilizaram Monte Carlo para simulação de cenários até o ano de 2030. Concluiu-se que o biodiesel de microalgas pode colaborar com a sustentabilidade do setor de transportes França, além disso,

uma nova oportunidade de mercado se desenvolve para atender essa demanda de energia limpa. Os autores sugerem que para estudos futuros o modelo incorpore mais critérios ambientais e se expanda para a União Europeia.

Promentilla et al. (2016) propuseram um estudo multicritério que mede a vulnerabilidade do setor econômico considerando a possibilidade de um desastre natural na matriz energética do Vietnã. O método avalia o bioetanol produzido por meio da mandioca e cana de açúcar. Os autores consideraram a incidência de inundações, infestação de pragas e tufões como cenários do modelo. O setor que mais iria ser impactado com a incidência de desastres naturais foi o sucroalcooleiro, assim, as políticas públicas devem incluir a produção outras matérias-primas como a mandioca para que em caso de desastres naturais possam utilizá-las para formar o bioetanol.

Hadi Sahebi et al. (2016) apresenta um modelo para a melhor localização de uma usina para produção de biocombustíveis a base de algas considerando a produção e a distribuição do combustível no Irã. Foram utilizados algoritmos meta heurísticos e modelo multicritério para atingir o resultado. Os autores conseguiram várias coordenadas geográficas para diferentes critérios avaliados: custo, emissão, distância e demanda.

Quadro 3 – Análise dos autores III

Publicações	Objetivos
Scott, Ho & Dey (2013)	Demonstrar o uso do método no processo integrado de qualidade de implantação de função e hierarquia analítica (QFD-AHP) para a inclusão de um amplo grupo de requisitos das partes interessadas no processo de seleção de fornecedores.
Raymond R. Tan. et al. (2015)	Um índice probabilístico de risco de multi-ruptura é desenvolvido para medir a mudança na produção líquida de um parque de bioenergia baseado em cenários de ruptura de plantas definidos. As probabilidades são estimadas usando o processo de hierarquia analítica (AHP).
Michael Angelo B. Promentilla et al. (2017)	Otimização do ciclo de vida para a síntese de sistemas de cultivo de microalgas, usando uma formulação de programa linear de múltiplos objetivos. O modelo levou em consideração três critérios ambientais principais na avaliação de diferentes alternativas de cultivo: energia, água (água direta e indireta) e pegadas de carbono.

Fonte: Autor (2019).

Scott, Ho e Dey (2013) utilizaram metodologia *Quality Function Deployment* (QFD) e método multicritério AHP para avaliar a seleção de fornecedores de bioenergia no Reino Unido. O estudo identificou os critérios mais importantes para um grupo de interessados, isso colaborou para melhor compreensão das necessidades dos compradores possibilitando personalizar sua oferta de produtos e/ou serviços.

No trabalho Tan. et al. (2015) foi elaborado uma avaliação da produção de uma usina de bioenergia considerando possíveis interrupções na produção. Por meio de modelo multicritério os autores conseguiram medir a robustez do sistema em diferentes cenários. As informações apresentadas permitiram a reduzir a vulnerabilidade na produção da usina de bioenergia por meio do gerenciamento de risco.

Promentilla et al. (2017) apresentam um modelo utilizando análise multicritério para avaliação de quatro diferentes tipos de cultivo de microalgas para produção de combustível. Foram considerados como critérios: limite energético, emissão de dióxido de carbono e consume hídrico. Os autores concluíram que o cultivo em lagoas é o melhor tipo de cultivo para robustez do sistema de produção considerando os critérios propostos.

#### Quadro 4 – Análise dos autores IV

<b>Publicações</b>	<b>Objetivos</b>
Michael Angelo B. Promentilla et al. (2014)	Modelo de otimização do ciclo de vida para a produção de microalgas, considerando critérios para avaliar diferentes métodos de cultivo e fontes de carbono.
Pilavachi, Petros A. et al. (2012)	Avaliar os combustíveis alternativos para o setor de transporte rodoviário grego, usando o modelo (AHP). Sete alternativas diferentes de modo de combustível são consideradas neste trabalho: motor de combustão interna (ICE) e a combinação com petróleo e misturas de biocombustíveis de 1ª e 2ª geração, células de combustível, veículos híbridos, híbridos plug-in e veículos elétricos. A avaliação é realizada de acordo com os aspectos de custo e de política.
Pilavachi, Petros A. et al. (2013)	Avaliar a próxima geração de combustíveis derivados de biomassa para o setor de transportes, empregando o modelo (AHP). Oito alternativas diferentes de combustíveis são consideradas neste artigo: bio-hidrogênio, gás natural bio-sintético, bio-dimetílico éter, bio-metanol, diesel para melhoria térmica, bioetanol, biocombustível de algas e eletricidade a partir da incineração de biomassa.

Fonte: Autor (2019).

Promentilla et al. (2014) apresentaram um modelo de otimização do ciclo de vida para produção de microalgas considerando métodos de cultivo e matérias-primas. Uma abordagem de hierarquia multicritério considerando os critérios: energia, água, solo e carbono. Os autores concluíram que o cultivo de microalgas em lagoas abertas é o melhor sistema considerando os critérios avaliados.

Pilavachi et al. (2012) avaliou energia alternativa para o setor de transporte rodoviário grego. Sete alternativas foram consideradas usando diferentes biocombustíveis de 1º e 2º geração e também energia elétrica. A avaliação dos modos alternativos de combustíveis considerou os aspectos de custo e política. Após dez cenários avaliados os autores concluíram



que a mistura de biocombustíveis aliado com a eletricidade tem maiores potências para dominar o setor de combustíveis no transporte grego.

Nesse trabalho Pilavachi et al. (2013) expandiu seu estudo anterior e incorporou ao modelo multicritério novos biocombustíveis e novos critérios. Oito biocombustíveis foram avaliados de acordo com os critérios: aspectos econômicos, técnicos, sociais e de políticas. Os autores concluíram que o bio-SNG e a eletricidade são as melhores soluções para o futuro. Embora ainda não seja muito claro quem vai dominar o setor de transportes, esses dois biocombustíveis combinados possuem grande potencial.

Quadro 5 – Análise dos autores V

Publicações	Objetivos
Raymond R. Tan. et al. (2016)	Uma abordagem multicritério baseada no processo de hierarquia analítica (AHP) é proposta para avaliar três sistemas alternativos de cultivo para produção sustentável de biocombustíveis de algas. Os principais critérios considerados para avaliar as alternativas com base em consulta a um painel de especialistas e da literatura são o impacto ambiental, o consumo de energia, a viabilidade econômica, a aceitabilidade social e a robustez do sistema.
Wheeler, J. et al. (2017)	Por meio da definição de uma função objetivo agregada calculada pelo algoritmo AHP é construído um modelo objetivo que fornece uma solução. O AHP foi combinado com uma formulação de programação não linear inteira mista (MINLP) que simplifica a aplicação e é particularmente adequada para lidar com muitos objetivos (como os que surgem em problemas de engenharia sustentável).

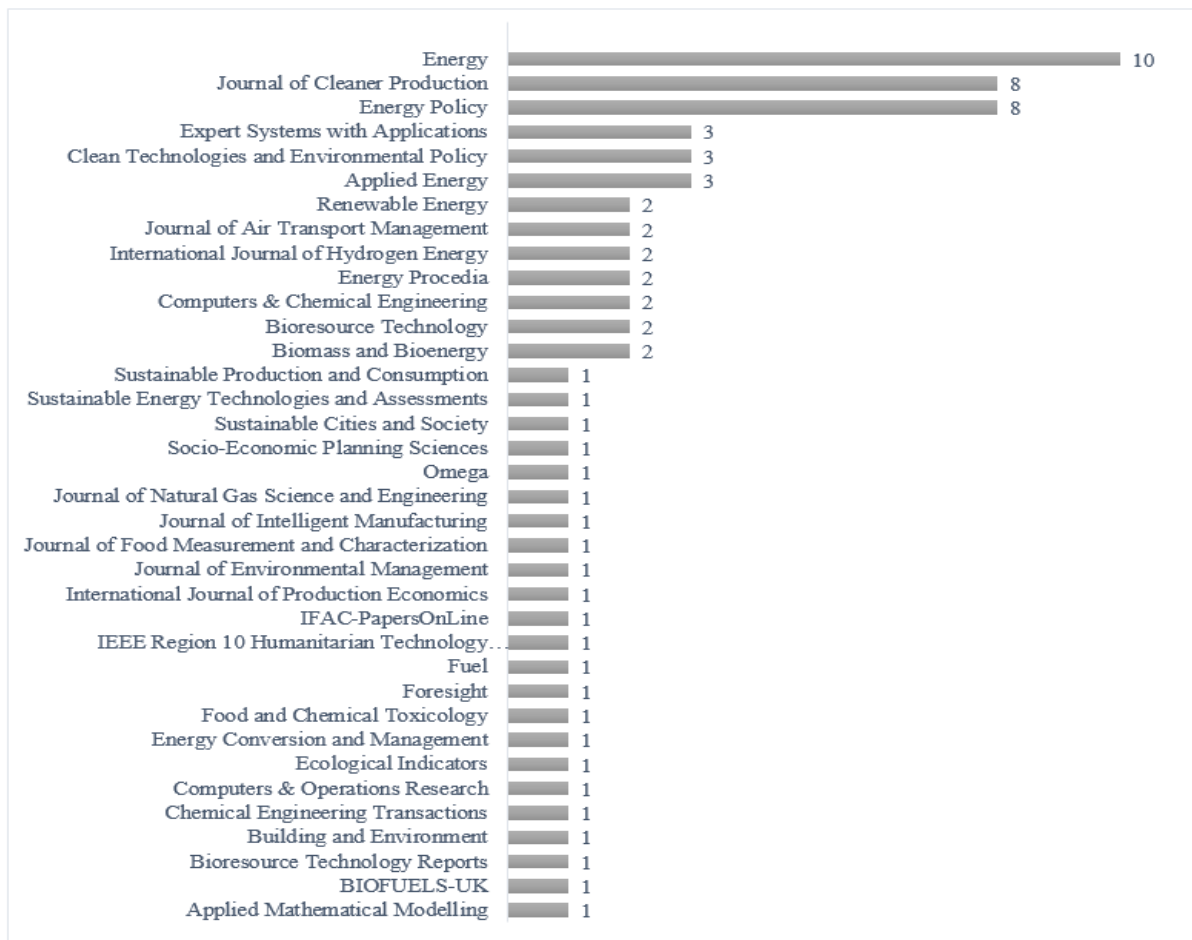
Fonte: Autor (2019).

Tan. et al. (2016) avaliaram cinco sistemas de cultivo de algas para geração de biocombustíveis por meio de método multicritério. Considerando os critérios: consumo de energia, economia, viabilidade, aceitabilidade social e robustez do Sistema. Além disso, simulação Monte Carlo foi utilizado para criação de cenários. Os resultados mostraram o sistema foto biorreator é o sistema preferido para grandes cultivos de microalgas.

Por fim, Wheeler et al. (2017) combinaram método multicritério com programação não linear com o objetivo de simplificar os problemas de engenharia sustentável. O modelo aborda as capacidades de um projeto sustentável na cadeia de açúcar/etanol. Os autores forneceram com solução um indicador de desempenho para toda a cadeia de suprimentos. A ferramenta pode ajudar o gestor na análise de políticas estratégicas no campo das agroindústrias e energia facilitando a tomada de decisão.

Ao considerar a quantidade de artigos por *Journal*, ou seja, por revistas, a análise encontrou 37 *Journals* distribuídos nas cinco bases de publicações. Na Figura 8 será demonstrada todas as informações encontradas.

Figura 8 – Quantidade de Journals citados

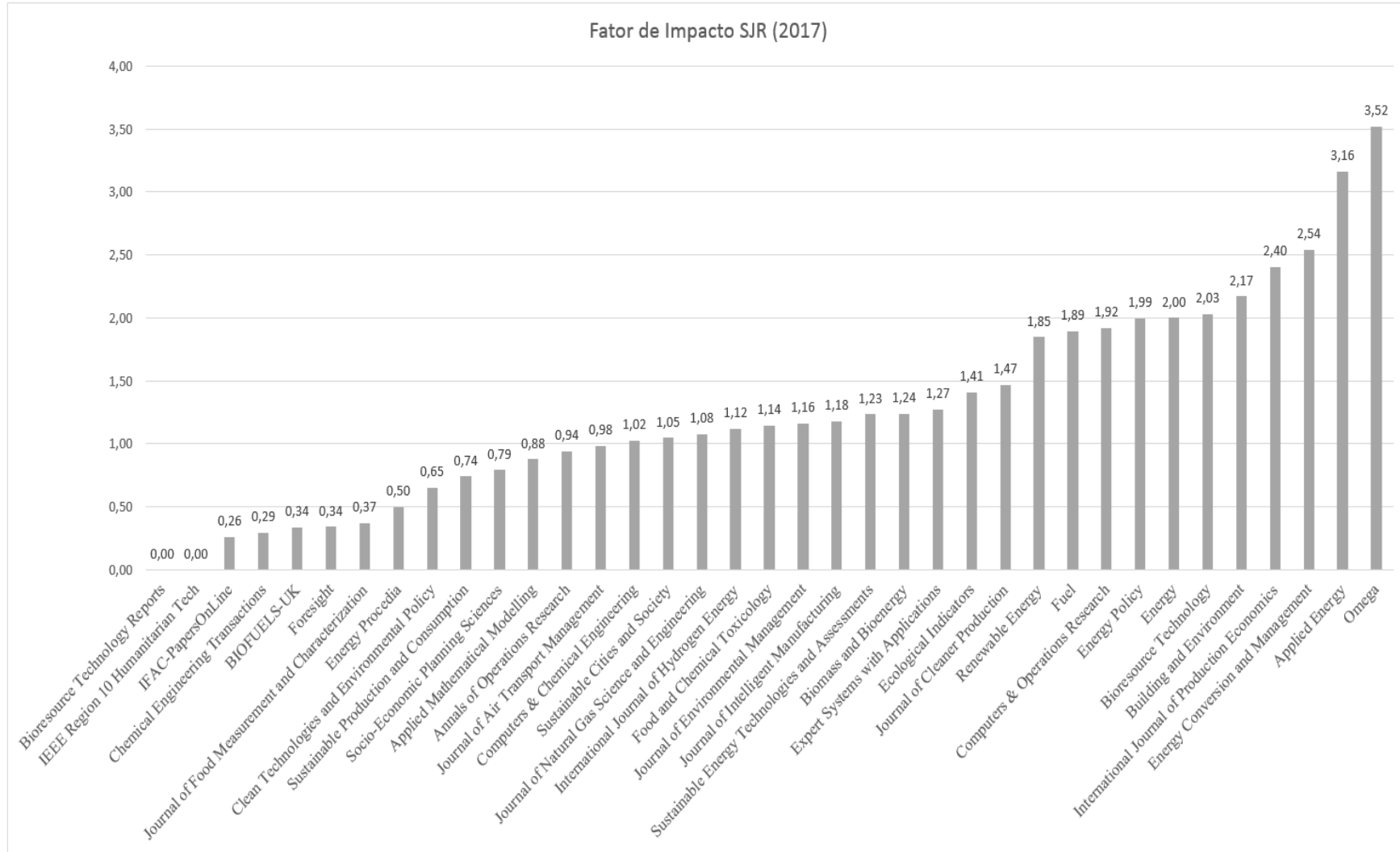


Fonte: Autor (2019).

Os *Journals* mais publicados de acordo com a figura acima foram os seguintes: *Energy* (10), *Energy Policy* (8), *Journal of Cleaner Production* (8). Desses *Journals*, a “*Energy*” mais recebeu trabalhos quando comparado com as demais, salienta-se que a plataforma recebe trabalhos voltados a temas relacionados a conservação de energia, eficiência energética, biomassa e bioenergia, energia renovável entre outros temas. Além disso, por ser um *Journals* com alto fator de impacto é possível afirmar que as pesquisas ali presentes possuem alto grau de importância na comunidade acadêmica.

Esse estudo também buscou saber o fator de impacto (SJR) dos 37 *Journals* selecionados. Para isso, foi utilizado o site <<http://www.scimagojr.com/>> como fonte de coleta. As informações coletadas são do ano base de 2017. Na Figura 9 tem-se os 37 *Journals* pertencentes ao portfólio bibliográfico selecionado com as respectivas classificações. Salienta-se que não foram encontrados o SJR de 2 *Journals* pois ainda não haviam sido avaliados ao finalizar essa análise.

Figura 9 – Fator de impacto SJR (2017)



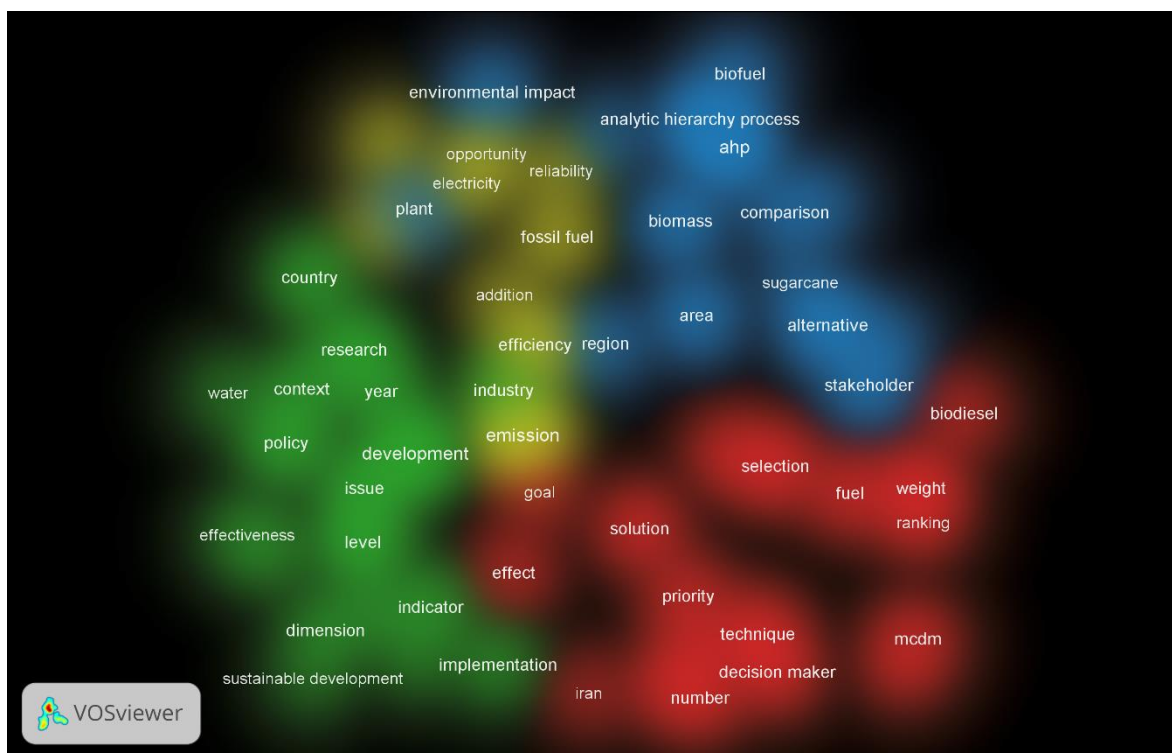
Fonte: Autor (2019).

Dos 37 *Journals* selecionados, os que apresentam os maiores índices SJR, considerando o ano de 2017, ou seja, os *Journals* com fatores de impacto mais altos são os seguintes: *Omega* (3,521), *Applied Energy* (3,162) e *Energy Conversion and Management* (2,537). Desses 3 *Journals*, salienta-se que esta pesquisa analisou 1 artigo do *Journal Omega*, 3 artigos do *Journal, Applied Energy* e 1 artigo do *Journal, Energy Conversion and Management*.

Por fim, a última parte a ser considerada nesta análise bibliométrica é o mapeamento e a criação de redes que estão apresentados logo abaixo.

Essa análise bibliométrica desenvolveu a representação visual por meio de mapeamento e redes. Isso facilita o entendimento e foi possível descobrir as relações entre as informações. Para o mapeamento utilizou-se o software *VOSviewer* na configuração padrão. Na Figura 10 é demonstrado o mapeamento.

Figura 10 – Visualização da densidade



Fonte: Autor (2019).

No mapa acima tem-se as relações entre as palavras-chave de acordo com o algoritmo do software. Observa-se que há 4 *clusters* (redes) que, neste caso, representam as forças associativas das palavras-chave. Em vermelho tem-se as palavras-chave com maior nível de ocorrência e força associativa, seguido pelas cores verde, azul e amarela respectivamente.

Além disso, todos os termos pertencentes na Figura 10 estão conectados formando uma rede, sendo a cor que determina a intensidade dessa força associativa. É importante salientar que os termos “MCDM”, “*decision maker*”, por exemplo, são palavras-chave que indicam a presença de modelos multicritérios utilizados para a solução de problemas. Isso é um indicativo que esta pesquisa está utilizando métodos difundidos e bem representativos na comunidade de pesquisa. O método AHP, sendo um dos muitos modelos multicritérios compõe o cluster azul desse mapeamento. Somado a isso, outros termos como “*biofuel*”, “*biomass*” e “*alternative*” estão no mesmo cluster, o que sugere uma relação entre os temas.

### 2.1.1 Considerações finais da análise bibliométrica

Diante da análise bibliométrica foi possível descobrir como os métodos multicritérios são muito utilizados na solução de problemas envolvendo a geração de biocombustíveis. O método multicritério AHP foi utilizado, sozinho ou combinado com outros métodos. Além disso, foi demonstrado os autores que mais publicaram na área de biocombustível, os periódicos destaques e as metodologias desenvolvidas. Entretanto, alguns trabalhos cabem destaque pela alta representatividade, por exemplo, os autores Benjamin K., Ubando, A. T., Tsita, Katerina G. utilizaram o método AHP em seus estudos com o objetivo de avaliar sistemas alternativos de cultivo e ciclo de vida de algas para produção sustentável de biocombustíveis. Salienta-se que a maioria dos trabalhos encontrados é na geração de biocombustíveis a base de algas aonde o método AHP foi um aliado para avaliar cenários em sistemas de cultivo.

Além disso, é indispensável citar que foi encontrado apenas um artigo envolvendo biocombustíveis para aviação e modelo multicritério. Nesse estudo, os autores Chen & Ren (2018) utilizaram o modelo multicritério ANP e lógica *Fuzzy* com o objetivo de avaliar a sustentabilidade dos combustíveis alternativos de aviação. Por meio dos métodos aplicados foi possível criar uma ordem de sustentabilidade desses combustíveis.

## 2.2 BIOCOMBUSTÍVEIS: OBTENÇÃO E UTILIZAÇÃO

A utilização de biocombustíveis tem sido uma alternativa de substituição aos combustíveis fósseis, auxiliando na diminuição de emissão de gases de efeito estufa. Os biocombustíveis são oriundos da biomassa e podem substituir os combustíveis fósseis (GOMIERO; SCARLAT et al., 2015). No Brasil os principais biocombustíveis na produção e

consumo são o etanol e o biodiesel. O etanol é oriundo da cana-de-açúcar, e o biodiesel é produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras de animais, que após adiciona-se, ao diesel de petróleo em diversas proporções (ANP, 2017; WALTER; DOLZAN; PIACENTE, 2006). Pioneiro mundial, o Brasil possui cerca de 18% de seu combustível renovável. Essa posição que o país alcançou é almejada por muitos países que buscam fontes alternativas de energia para substituição do petróleo. Desde a década de 1970 até os dias atuais o mercado nacional é precursor no consumo de etanol sendo o país que mais utiliza e produz esse biocombustível (ANP, 2017; ISABELLA et al., 2017; RIBEIRO; SCHIRMER, 2017; SAUER, 2008; VILT, 2017).

A tendência para desenvolvimento de energia renovável surgiu por meio de três princípios: redução de emissão de poluentes, segurança energética e também a necessidade de proteger o planeta da degradação dos recursos naturais (AHUJA; TATSUTANI, 2009; GIELEN et al., 2019; OWUSU; ASUMADU-SARKODIE, 2016).

A indústria de aviação reconheceu a necessidade de utilização de combustível alternativo para atender os princípios. Assim, os biocombustíveis são considerados uma opção válida que irá atender à necessidade atual e também marcará a transição para outras novas tecnologias de propulsão que poderão surgir nas próximas décadas (ATSONIOS et al., 2015; ICAO, 2016; JONG et al., 2017; MOVE, 2015; RAMAN et al., 2015).

A indústria de aviação e de transportes são responsáveis por uma maior parte das emissões de gases de efeito estufa, sendo o CO<sub>2</sub> o gás mais presente e considerado o agente do aquecimento global. Dessa maneira, o investimento em pesquisas, inovação e regulamentação dos biocombustíveis tem papel fundamental na redução das emissões de gases nocivos (OLHOFF; CHRISTENSEN, 2018). Considerando o uso no setor de aviação, hoje a indústria de biocombustíveis adota o sistema de mistura controlada de combustíveis. A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) é a agência que regulamenta a aceitação de misturas de biocombustíveis com o querosene de aviação (QAV-1). Os critérios de aceitação buscam garantir a qualidade do combustível, antes e depois da mistura, com o intuito de que não seja necessária nenhuma alteração nos motores das aeronaves e também que sejam atendidos os parâmetros de segurança (SPG / MME / 2016).

O progresso no desenvolvimento de biocombustíveis para a aviação está a todo o vapor. Por volta de 2008 com os primeiros voos teste até hoje, os biocombustíveis já são uma realidade para o setor, porém ainda há dificuldades para a integral utilização dos biocombustíveis como substituto ao combustível fóssil tanto no transporte aéreo como também no terrestre. Os maiores desafios estão no preço do produto e o conflito sobre o uso

das terras (alimento vs combustível), além disso, também existe a necessidade do fornecimento em larga escala e a longo prazo (CORTEZ, 2014; GOMIERO, 2015; MASIERO, 2011).

Os avanços com tecnologia dos combustíveis alternativos e o crescimento da oferta faz com que o Brasil ocupe uma posição destaque no cenário internacional. Entretanto, o desafio é constante, com o aumento do tráfego aéreo em 5% ao ano, novas tecnologias nas aeronaves e também melhorias na eficiência do combustível estão sendo colocadas em teste. É provável que os biocombustíveis necessitaram de novos impulsos para conseguir acompanhar a expansão do setor de aviação e atender as demandas de redução dos gases de efeito estufa (CORTEZ, 2014; MOTA; FUSCO, 2016; ZANIN, 2008; WANG et al., 2019).

### 2.3 ANÁLISE DE CENÁRIO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

No ano de 2017, segundo informações da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) a matriz energética brasileira era composta pela utilização de 36,4% de petróleo; 23,5% de biomassa (etanol, biodiesel e outros); 12% hidráulica; 8% lenha; 13% gás natural; 5,7% carvão; e 1,4% nuclear (EPE, 2018a). Os mais de 20% de biomassa confirmam o papel de destaque do Brasil no cultivo de matérias-primas para a produção de biocombustíveis. Além disso, o país possui alguns benefícios, por exemplo: território amplo; clima favorável ao cultivo de matérias-primas; cadeia agroindustrial completa e diversificada; e também um setor de pesquisa agropecuário bastante avançado (FERRÉS, 2010; OLIVEIRA; ZANIN 2015).

Nesse cenário, o Brasil já desenvolveu dois programas que estão funcionando e são referências mundiais em termos de eficiência, competitividade e benefícios socioambientais: etanol e o biodiesel. Esses dois biocombustíveis são os principais produtos derivados da biomassa com importante representação na matriz energética brasileira representando um sucesso em energia renovável (COSTA; GOLDEMBERG, 2017; FERRÉS, 2010). Entretanto, existem alguns desafios para a produção de biocombustíveis no Brasil: escolha da matéria-prima, concorrência com áreas de cultivo (biomassa vs culturas para alimentação humana), recursos hídricos e rotas de produção (FREITAS, 2016; SANTOS, 2012). Somado a isso, tem-se ainda a competitividade em preço dos biocombustíveis em relação a indústria petrolífera que possui uma cadeia produtiva funcionando a décadas e com várias políticas governamentais (FERRÉS, 2010). Os biocombustíveis estão crescendo em representação energética no país, estudos apontam que um marco regulatório e subsídios governamentais seriam a solução para que a utilização dos biocombustíveis ultrapasse a de combustíveis

fósseis. Entretanto, quando o assunto é biocombustíveis para aviação, o país ainda não possui um caminho claro para a produção e o consumo. A indústria de aviação ainda carece de uma solução energética limpa para o setor.

Analisando os casos bem-sucedidos como o etanol e o biodiesel, o bioquerosene de aviação possivelmente caminhará por caminhos parecidos. A cadeia produtiva do etanol e biodiesel apresentaram dificuldades no início de sua trajetória e até hoje ainda possuem desafios a superar, porém a cadeia produtiva já está mais madura e eficiente. Assim como esses exemplos, é provável que o bioquerosene também deverá avançar na curva de aprendizagem e aprender com os casos bem-sucedidos para que em um futuro próximo a produção e o consumo de bioquerosene em escala se tornem uma realidade.

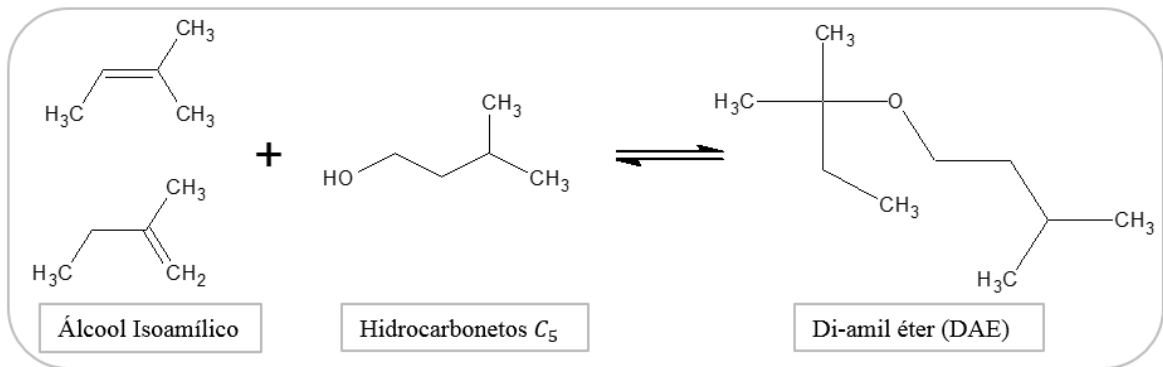
#### 2.4 PRODUÇÃO DO DI-AMIL ÉTER (DAE) COMO BIOCMBUSTÍVEL PARA AVIAÇÃO

A produção do biocombustível di-amil éter (DAE) reflete em sua maioria a tendência do mercado em buscar novos combustíveis que sejam renováveis, ou seja, provenientes da biomassa (VENTURI, 2010). De uma forma geral, compostos oxigenados como o DAE elevam a octanagem dos combustíveis e reduzem a emissão de poluentes. A produção desse bioéter pode colaborar na combustão de um combustível fóssil ao ser adicionado em uma fração de acordo com as normas da ANP (ANP, 2017; VENTURI, 2010).

O processo de síntese do composto utiliza-se o álcool isoamílico e um corte dos hidrocarbonetos C5. O álcool isoamílico é obtido por meio do etanol (presente no óleo fusel da destilação do etanol e partir da cana-de-açúcar), já os hidrocarbonetos C5 são oriundos do petróleo por meio de craqueamento térmico nafta. Para que a reação ocorra é adicionado como catalizador a resina Amberlyst 36 (CATALUÑA R. et al., 2018; VENTURI, 2010). Na Figura 11 é demonstrado os elementos da reação.



Figura 11 – Síntese do di-amil éter (DAE)



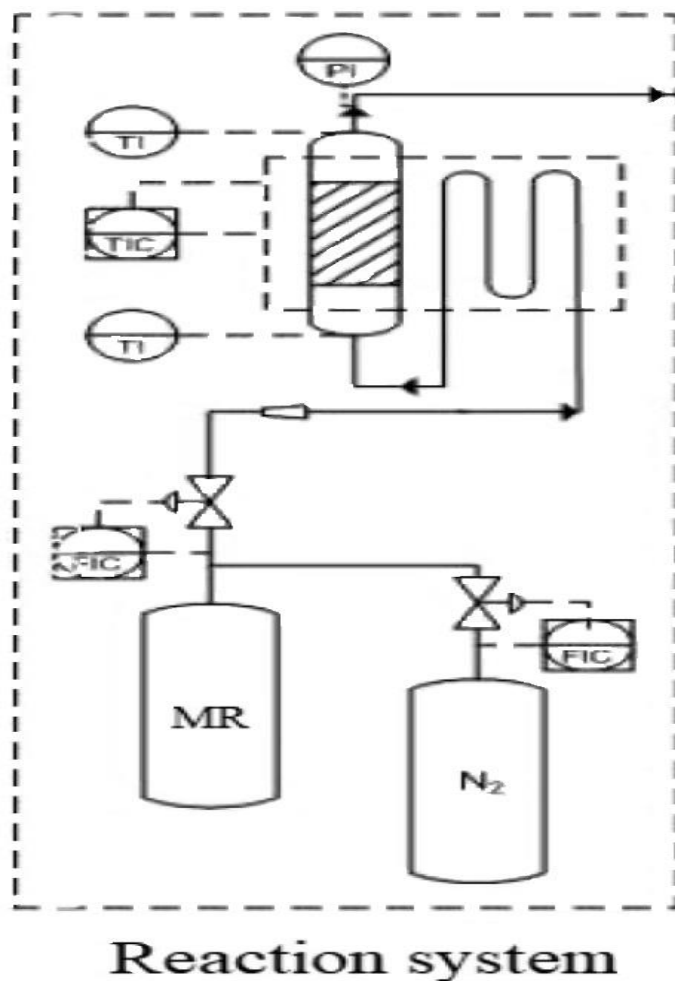
Fonte: Autor (2019).

O sistema reacional é condicionado para que o álcool isoamílico passe no sistema a 80°C. Para a síntese do composto (DAE) é utilizado um sistema de reação adiabático e após é efetuado a purificação por meio de destinação. Um controlador de fluxo de líquido é utilizado para garantir o fluxo de carga dos reagentes no sistema de reação. A reação ocorre por meio de um reator adiabático de 1150 ml de volume interno, sendo total preenchido com o catalisador operando abaixo de 800 kPa. O reator é alimentado pela mistura predeterminada dos reagentes álcool isoamílico e hidrocarbonetos C<sub>5</sub>, sob uma pressão de 1,2 Mpa (CATALUÑA R. et al., 2018).

Já que a reação de produção do composto (DAE) é exotérmica, a temperatura do leito catalítico do é controlada, por meio de ajustes da carga do reator. Uma válvula de contrapressão garante a pressão no interior do reator e um sistema de refrigeração de gelo e sal é responsável pela amostragem adequada do efluente do reator. A reação de produção do composto (DAE) é exotérmica com tendência ao equilíbrio (CATALUÑA R. et al., 2018).

Portanto, quanto menor a temperatura de reação do sistema maior foi a conversão dos reagentes em produto final. Porém, ao utilizar temperaturas baixas a velocidade de reação também diminui, necessitando que baixas velocidades espaciais sejam utilizadas para alcançar as conversões próximas do equilíbrio. Então, considerando esses requisitos, a faixa de temperatura com ótima condição de operação é entre 40 e 45°C com velocidade espacial de 1,0 h<sup>-1</sup> e mantendo a pressão de 800kPa no reator adiabático. Na Figura 12 tem-se o sistema de reação do di-amil éter (DAE) (CATALUÑA R. et al., 2018).

Figura 12 – Sistema de reação da síntese do di-amil éter



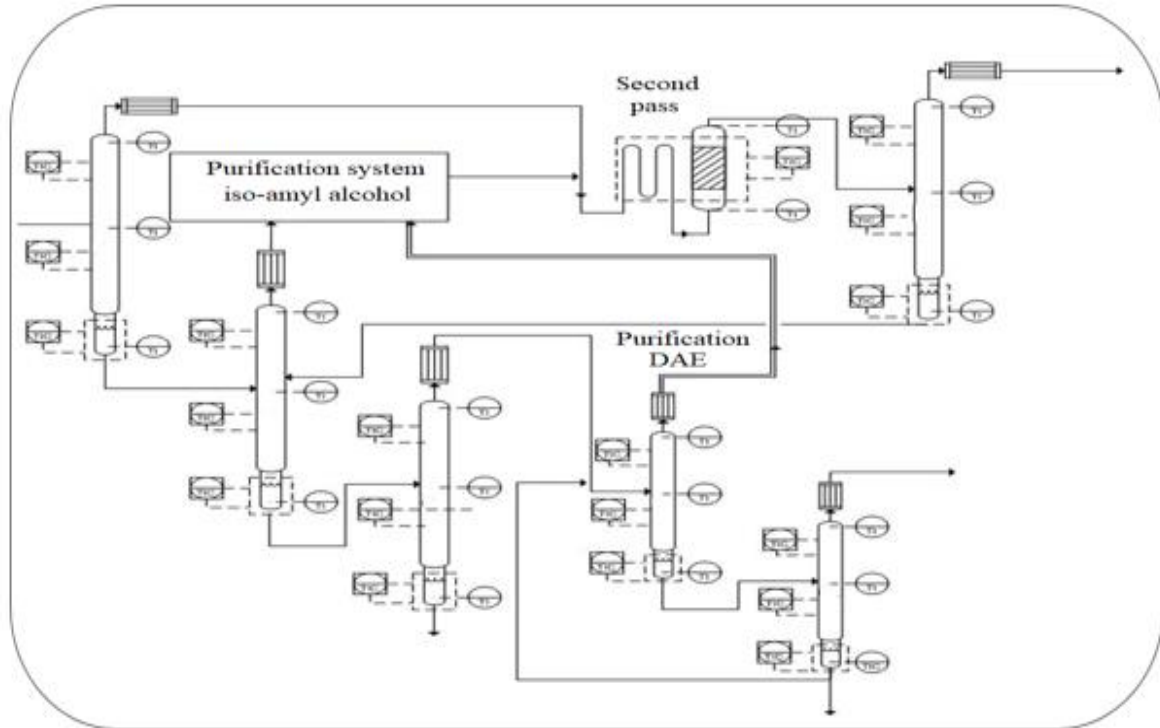
Fonte: Cataluña et al. (2018).

O processo dessa reação consiste na injeção de álcool isoamílico e os hidrocarbonetos C5 (olefinas) em um reator com pressão controlada de 800 Kpa. A vazão de entrada no reator é controlada por uma válvula, além disso, na entrada do reator tem-se um mostrador de temperatura que indica qual a temperatura de entrada da amostra (CATALUÑA R. et al., 2018).

No início da reação é adicionado com a amostra um catalisador “resina Amberlyst 36 (A-36)”, com a função de aumentar a velocidade da reação. Assim, quando o processo reacional inicia tem-se na entrada do reator um controlador de temperatura controlando a temperatura da reação, e na saída do reator tem-se outro controlador que monitora a temperatura e também a pressão, com isso é possível controlar a temperatura e pressão final da reação. Além disso, para manter o resfriamento, o sistema é encapsulado com água e sal para manter a temperatura (CATALUÑA R. et al., 2018).

Por fim, após a síntese do (DAE) é necessário fazer a purificação em colunas de destilação. Na Figura 13 é demonstrado o processo de purificação.

Figura 13 – Sistema de purificação do (DAE)



Fonte: Sistema proposto por Cataluña et al. (2018).

O (DAE) resultante foi submetido a um sistema de purificação com vários estágios de destilação atmosférica com o objetivo de obter um produto final com 98% de pureza ou mais. O processo para a destilação foi realizado com colunas compactas, alimentado com fluxo controlado por meio de controladores de fluxo líquido. Esse sistema também promoveu a recuperação dos reagentes para uma segunda passagem no sistema de reação, o que aumenta a taxa de conversão final. Na primeira coluna do sistema de reação, os compostos leves ficam no topo (hidrocarbonetos inertes na reação somado com uma pequena fração de álcool isoamílico). No fundo dessa coluna de destilação, são obtidos o (DAE) e o resíduos de álcool isoamílico (CATALUÑA R. et al., 2018).

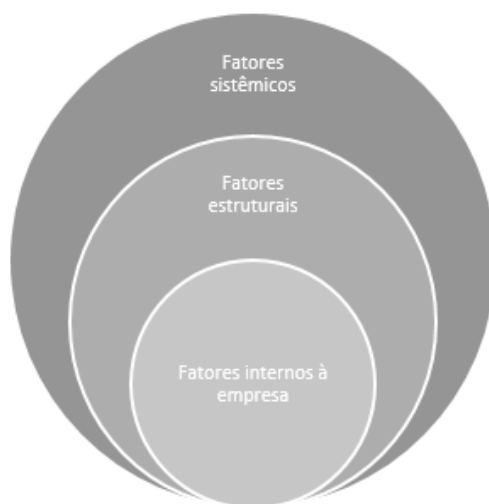
O fluxo no topo deve ser reprocessado representando a segunda passagem de reação do corte dos hidrocarbonetos C5 extraído, a fim de esgotá-lo ao máximo aumentando o rendimento da produção. Agora o fluxo no fundo das colunas foi processado em outros dois estágios de destilação, para separar o álcool isoamílico do composto (DAE). Salienta-se que o álcool isoamílico no processo de purificação do (DAE) não apresenta pureza adequada para

passar pelo sistema de reação. Por isso outro sistema de destilação foi necessário para realizar a retificação. Sendo assim, o álcool recuperado está disponível para ser reprocessado de novo no sistema (CATALUÑA R. et al., 2018).

## 2.5 COMPETITIVIDADE

A competitividade é definida como a capacidade de um sistema (país, setor industrial, grupo de empresas, empresa individual) de atuar com sucesso em um determinado contexto de negócios (MARIOTTO, 1991; RÉUS et al., 2017; WOOD; CALDAS, 2007). Coutinho e Ferraz (2002) descrevem que o desempenho competitivo de um sistema é condicionado por três conjuntos de fatores: fatores internos na empresa, fatores estruturais e fatores sistêmicos. Na Figura 14 são apresentados os fatores de competitividade.

Figura 14 – Fatores competitividade



Fonte: Adaptado de Coutinho e Ferraz (2002).

O fator sistêmico compreende as competências e recursos acumulados ao longo do tempo pela organização, podendo constituir algum tipo de vantagem competitiva ou comparativa em relação aos seus concorrentes, ou seja, são fatores internos à empresa. Por exemplo: o domínio de uma tecnologia; propriedade ou controle de alguma capacidade de produção; competência mercadológica e operacional dos recursos humanos; a capacidade de acatar os requisitos de qualidade e os desejos dos clientes; articulação bem-sucedida em toda cadeia de valores. Inclui também, de forma geral, a competência em gestão (ALVES, 2014; COUTINHO; FERRAZ, 2002; POSSAMAI et al., 2004; FRANÇA VARGAS et al., 2016).

O fator estrutural refere-se ao setor que a empresa atua. Isso inclui as características gerais dos mercados consumidores (distribuição geográfica, faixas de renda, acesso ao mercado externo e custos de comercialização), a configuração geral da indústria que a empresa atua (grau de concentração, escalas de operação, qualidade dos insumos, relacionamento com fornecedores, clientes, concorrentes e condições da evolução tecnológica) e também o modelo de concorrência (o sistema fiscal-tributário, regulamentação das práticas de importação e exportação, e os meios de produção) (ALVES, 2014; CAPPELLARI et al. 2017; COUTINHO; FERRAZ, 2002; ROSA, 2004).

O fator sistêmico é o fator mais externo da competitividade pois representa o ambiente externo da empresa. Entretanto, o fator sistêmico pode afetar diretamente na configuração do fator estrutural e a capacidade competitiva da organização. As características desse fator são: macroeconômicos (taxa de câmbio, oferta de crédito e taxas de juros); políticos e institucionais (políticas públicas e tarifárias); regulatórios (políticas de proteção à propriedade industrial, de preservação ambiental, de defesa da concorrência e de proteção ao clientes); infraestrutura (disponibilidade, qualidade e custo da energia, transporte, telecomunicações e serviços tecnológicos); e os sociais (qualificação da mão de obra e legislação trabalhista) (ALVES, 2014; COUTINHO; FERRAZ, 2002; CAPPELLARI et al., 2017; DORNELES, 2011).

No próximo tópico é apresentado como o estudo da competitividade é desenvolvido quando o campo de assunto são os biocombustíveis.

## 2.6 COMPETITIVIDADE EM BIOCOMBUSTÍVEIS

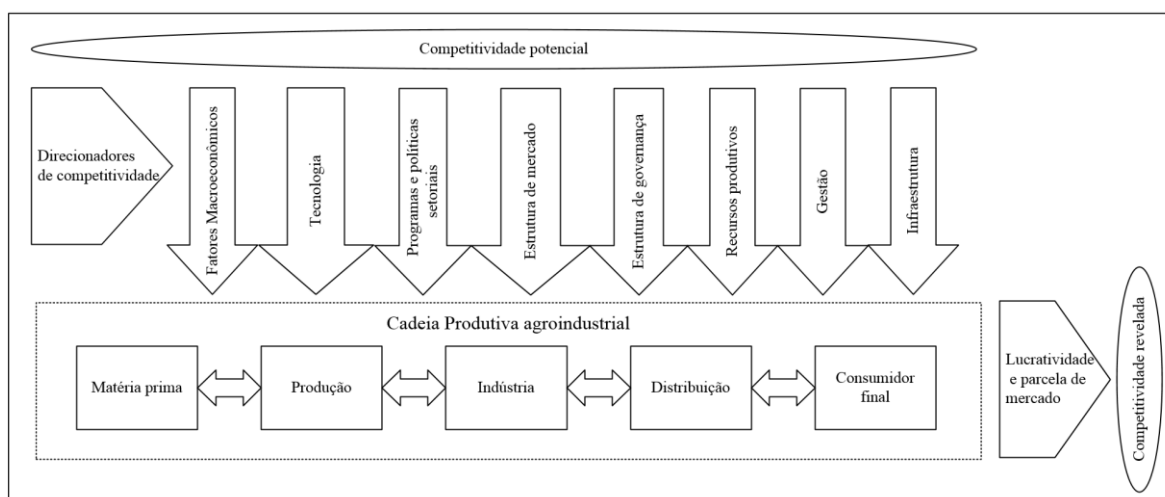
Quando se analisa ao longo prazo, observa-se que o Brasil perseguirá inovações tecnológicas para atender a demanda de expansão dos biocombustíveis. Isso não se restringe apenas às matérias-primas tradicionais, mas também a pesquisa de espécies com alta capacidade de produção de biomassa e alta densidade energética, tanto para produção de etanol, biodiesel como o bioquerosene (AMARAL et al., 2008; SAMPAIO et al., 2017).

O preço internacional do barril de petróleo é outro fator importante, pois se continuar a níveis elevados de preços, a posição dos biocombustíveis pode melhorar em eficiência e competitividade a cada ano. Além disso, a existência de diversos centros, institutos e empresas de pesquisa agropecuária no Brasil, tornam o país um celeiro potencial de oferta de inovações, com nível tecnológico adequado para atuar no mercado de biocombustíveis

(AMARAL et al., 2008; FREITAS, 2016; GAZZONI, 2009; SCHIRMER; GAUER, 2012; SILVA et al. 2015).

Para determinação dos elementos que impactam no nível de competitividade, este trabalho coletou informações nos direcionadores de competitividade tendo como ponto inicial os trabalhos descritos em Silva Batalha (1999), Silva e Souza Filho (2007) e Batalha e Souza Filho (2009). Esses autores propuseram uma metodologia de análise de competitividade aplicada em uma cadeia produtiva agroindustrial. Após, César (2012) aplicou esses direcionadores de competitividade na cadeia produtiva de biodiesel. Assim, na Figura 15 é demonstrado os direcionadores de competitividade que os autores Silva Batalha (1999), Silva e Souza Filho (2007) e Batalha e Souza Filho (2009) propuseram.

Figura 15 – Direcionadores de competitividade



Fonte: Adaptado de Silva Batalha (1999) e Silva e Souza Filho (2007).

Os direcionadores de competitividade aplicados na cadeia produtiva agroindustrial segundo a metodologia proposta por Silva Batalha (1999), Silva e Souza Filho (2007) e Batalha e Souza Filho (2009) foram: Fatores macroeconômicos, tecnologia, programas e políticas setoriais, estrutura de mercado, estrutura de governança, recursos produtivos, gestão e infraestrutura. Esses oito direcionadores que acompanham toda a cadeia produtiva serão melhor explicados no Quadro 6.

Quadro 6 – Direcionadores de competitividade

(continua)

Direcionadores de competitividade	Definição
Fatores macroeconômicos	Barbosa (2007) demonstra que os fatores macroeconômicos que mais impactam na economia são: taxa de juros, investimentos públicos e privados e questões estruturais (burocracia, carga tributária, eficácia do setor público, desemprego, qualidade dos recursos humanos e disponibilidade de tecnologias). Assim, pode-se afirmar que todos esses fatores macroeconômicos podem oscilar ao longo dos anos, e isso irá causar alterações na produção e consumo de uma organização.
Tecnologia	Esse direcionador está associado às operações de produção, processamento e de distribuição que podem proporcionar ganhos para a cadeia produtiva. Dessa forma, é importante identificar as tecnologias-chave, caracterizadas por possuírem elevado potencial de redução de custos, aumento da produtividade, incremento de qualidade e capacidade de rastreabilidade (CÉSAR, 2012).
Programas e políticas setoriais	Vários mecanismos podem ser incrementados para incentivar os investimentos no setor produtivo. Por exemplo, é possível desenvolver programas de financiamentos e/ou políticas capazes de impulsionar o desenvolvimento de uma região (SILVA e SOUZA FILHO, 2007). Além disso, a possibilidade de acesso a recursos em condições especiais (crédito, fundos para investimento etc.) pode ser tomada como um indicador de competitividade potencial. As empresas têm possibilidade de obter recursos facilitados e podem reduzir seus custos de investimento, expandir a oferta de novos produtos, obter economias de escala e aumentar a produtividade por meio da adoção de inovações (BATALHA e SOUZA FILHO, 2009).
Estrutura de mercado	Os estudos dos autores dizem que o preço e a quantidade de equilíbrio nos mercados são determinados pelas forças da oferta e da demanda. Cada mercado apresenta características específicas tais como: produto, condições tecnológicas, acesso, informação, tributação, regulamentação, número, características dos participantes, localização no espaço e no tempo (TROSTER, 2004). Então, esses fatores influenciam em um mercado competitivo onde as empresas assumem o preço de mercado como base para decidirem sobre as quantidades ofertadas, do mesmo modo que os clientes assumem esse preço como básico para decidirem sobre as quantidades a serem demandadas (PINDYCK; RUBINFELD, 2006).
Estrutura de governança	Esse representa a forma como as organizações conduzem suas atividades. A estrutura de governança pode ser: neoclássica (sistema de preços funciona como coordenador universal dos mercados) ou Nova Economia Institucional (NEI) onde o desenvolvimento econômico é influenciado não apenas pelas instituições econômicas, mas também pelas instituições sociais (ZYLBERSZTAJN, 2005).
Gestão	Veltz e Zarifian (1994) afirmam que essa é a competência requerida pelos tomadores de decisão para conseguirem interpretar a complexidade de um sistema produtivo, assim como sua complexidade socioeconômica. Na literatura é possível encontrar diversos fatores que contribuem para o sucesso em desempenho das organizações de forma bem consolidada, enfatizando os recursos internos e as competências empresariais (FISCHER; SCHORNBERG, 2007). Batalha e Silva (2007) descreveram algumas dessas especificidades para o sistema agroindustrial com destaque a: sazonalidade da produção, variações da qualidade do produto final, a perecibilidade de matéria-prima e produto final e também a sazonalidade do consumo.
Recursos produtivos	Este representa a disponibilidade de matéria-prima que dependendo do seu custo interfere na competitividade das cadeias produtivas. No caso das cadeias agroindustriais que produzem biomassa, isso é muito importante, pois à questão da sazonalidade na produção de matéria-prima influenciará no processamento de outras cadeias produtivas. Além disso, outro fator importante desse sistema é a preocupação em relação a qualidade da matéria-prima e a sua perecibilidade. Alguns exemplos de recursos

Quadro 6 – Direcionadores de competitividade

(conclusão)

Direcionadores de competitividade	Definição
	produtivos essenciais no processo agrícola são: sementes, disponibilidade do solo, quantidade de nutrientes para o cultivo, recursos hídricos e mão de obra. Entretanto, no momento de expansão da produção de biocombustíveis tem-se a utilização desses recursos agrícolas cada vez mais polêmica. Nos sistemas produtivos existe certa competição entre as áreas de produção agrícola destinadas a produção no segmento de alimentos e as destinadas a produção de biocombustíveis. Isso, causa muita discussão sobre os impactos dessa nova cadeia produtiva na segurança alimentar (CÉSAR, 2012).
Infraestrutura	Esse direcionador engloba tanto a localização de plantas produtivas quanto a logística de distribuição. Devido a necessidade muitas plantas industriais estão migrando suas atividades para regiões mais afastadas dos polos urbanos (regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste). Existem muitos fatores que influenciam esse comportamento, tais como a disponibilidade e custo dos recursos produtivos e também os incentivos fiscais regionais. Esse afastamento físico vem fazendo com que a logística se transforme em um a preocupação importante das empresas, já que os custos médios de frete são bastante elevados no Brasil. Esse alto custo também pode ser atribuído às sérias deficiências na conservação de rodovias. Isso, segundo Bartholomeu (2006), faz com que um custo adicional seja incorporado, pois em condições de pavimentação precárias, existe aumento no consumo de combustível, no tempo de viagem e nos gastos com a manutenção dos veículos.

Fonte: Autor (2019).

Esses oito direcionadores de competitividade e a aplicação deles na cadeia produtiva do biodiesel foram estudados para que fossem adquiridos os conhecimentos necessários para o estudo da competitividade do biocombustível di-amil éter. Isso ocorre, pois, a produção do biocombustível apresenta insumos provenientes do etanol que por sua vez possui uma cadeia agroindustrial complexa. Somado a isso, foi constatado que ainda não há na literatura uma metodologia de análise da competitividade exclusiva para a cadeia produtiva de bioquerosene. Entretanto, apenas com essas informações não seria possível analisar a competitividade do biocombustível di-amil éter pois há outras variáveis importantes que impactam na produção do composto. Assim, no próximo tópico serão abordados outros elementos que impactam na competitividade da produção de um biocombustível: a regulamentação e as partes interessadas.

### 2.6.1 Agências certificadoras e partes interessadas

Um biocombustível deve ser certificado e homologado para que possa ser utilizado comercialmente (ANP, 2017). Hoje em dia, as principais barreiras para o bioquerosene é econômico, gastos com biocombustíveis de aviação podem custar de duas a três vezes mais



que os combustíveis fósseis (IATA, 2017). Além disso, o maior volume de produção é pela rota *Hydroprocessed Esters and Fatty Acids* (HEFA), utilizando óleo vegetal, gordura animal ou resíduos de cozinha como matéria-prima (IRENA, 2017). Entretanto, o setor ainda explora outras rotas com o objetivo de que a produção de bioquerosene possa gerar ao mesmo tempo outros produtos que permita viabilizar a produção a preços mais competitivos (SAMPAIO et al., 2017).

A União Brasileira de Biodiesel e Bioquerosene (UBRABIO) descreve outros desafios a serem solucionados para que um bioquerosene seja oficializado no país, entre os mais importantes são: elaborar um conjunto de regulamentos brasileiros que inclua os biocombustíveis segundo o processo aprovado pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM); organizar um plano estratégico de longo prazo para a produção e distribuição de biocombustíveis para aviação. Além disso, a UBRABIO também salienta que um marco regulatório para o bioquerosene poderia ser aproveitado dos modelos já consolidados: etanol e biodiesel.

Nesse processo lento de certificação de um biocombustível, há algumas ações que podem contribuir, por exemplo, por meio de uma organização de partes interessadas. A *Roundtable on Sustainable Biofuels* (RSB) é uma das mais importantes nesse campo, atuando no campo da bioeconomia. A RSB possui membros do movimento mundial de empresas, governo e acadêmicos, com o objetivo de apoiar e impulsionar as melhores práticas para a produção sustentável de biomateriais. Por meio das partes interessadas, os especialistas criaram doze princípios para garantir a sustentabilidade e impulsionar o desenvolvimento de biomateriais e/ou biocombustíveis. Além disso, por meio dos seus processos de regulamentação próprios, é possível que um biocombustível acelere seu processo de amadurecimento (pesquisa, desenvolvimento, certificação e produção), cumprindo os requisitos das agências regulamentadoras como ATSM e a ANP de modo mais eficiente, competitivo e sustentável.

No Brasil, tem-se o Programa Nacional de Biocombustíveis (PNB), caracterizado como “RenovaBio”. Esse programa objetiva traçar melhores estratégias para o desenvolvimento de biocombustíveis. Por meio desse programa, o Brasil busca promover a expansão dos biocombustíveis e também aprimorar o mercado com ganho de eficiência, competitividade e segurança energética (AMARAL, 2018). Assim, devido a aproximação de objetivos comuns entre os princípios da *Roundtable on Sustainable Biofuels* (RSB) e o RenovaBio, esses dois elementos serão melhor estudados nos próximos parágrafos.

A RSB determina em seus processos de certificação doze princípios e critérios que um biocombustível deverá atender. Na Figura 16 serão apresentados os 12 princípios RSB e suas definições.

Figura 16 – Princípios e critérios RSB



Fonte: RSB (2016).

Todos os princípios da certificação RSB foram criados por especialistas na área de biomaterias e biocombustíveis, assim uma certificação RSB atende requisitos internacionais (RSB, 2016). Esses 12 princípios são desdobrados em vários critérios que não são divulgados ao público geral pois pertence aos processos internos de avaliação da própria RSB e apenas estão acessíveis aos gestores que venham certificar um biocombustível. Assim, foi considerado para a análise da competitividade do di-amil éter apenas esses princípios iniciais.

O RenovaBio é o último fator de competitividade a ser estudado. Esse programa possui os seguintes valores: competitividade com equidade, credibilidade, diálogo, eficiência, previsibilidade, sustentabilidade. Então, observa-se que o RSB apresenta mais princípios voltados para a certificação de biomateriais, já o programa RenovaBio busca contribuir com a parte política e o desenvolvimento de parcerias entre setores. Salienta-se que os princípios

RSB foram criados por partes interessadas e visam a certificação de biomateriais, já o RenovaBio é um programa brasileiro voltado para impulsionar o setor de biocombustíveis. Entretanto, os dois elementos são importantes para a expansão dos biocombustíveis. Assim, diante da importância dos princípios da RSB e o RenovaBio, eles serão incorporados para a análise da competitividade do biocombustível di-amil éter (DAE).

## 2.7 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO

Na realidade das organizações, o processo para tomada de decisão é complexo. Os métodos multicritérios de forma geral auxiliam o gestor a resolver problemas nos quais vários critérios devem ser respeitados de forma simultânea para que o objetivo seja atingido (VELASQUEZ; HESTER, 2013). Dentre vários métodos multicritérios, esse estudo utilizou o *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

O AHP foi escolhido pela facilidade do uso e por possuir uma estrutura em forma de hierarquia que se adapta a diversos tipos de problemas. Além disso, o método, muito aplicado no campo de bioenergia, considera as possíveis incertezas presentes nos problemas por meio de uma mensuração de valor (ABDULVAHİTOĞLU, 2018; ROSA; STEINER; COLMENERO, 2015; SAATY, 2009; SCHILLO; ISABELLE; SHAKIBA, 2017; UBANDO, 2016; UBANDO et al., 2014).

A lógica *Fuzzy* ajudará a complementar o método AHP ao modelar modos de raciocínio aproximados ao invés de precisos, em um ambiente com circunstâncias de incertezas (DEMIREL et al., 2008). Os domínios de aplicação da lógica *Fuzzy* são amplos: inteligência artificial; bioenergia; sistema de apoio a tomada de decisão; reconhecimento de padrões; robótica; sistemas de controle entre outras áreas do conhecimento (OBLAK et al. 2017; OKWU; NWACHUKWU, 2019; PEIDRO; VASANT, 2011; SANTOS, 2014; SINGH, 2013).

A combinação desses dois métodos de soluções de problemas também é muito utilizada na comunidade acadêmica com aplicações em diversas áreas como a bioenergia entre outros campos de estudo (ÇOLAK; KAYA, 2017; KAYA; COLAK, 2019; KUMAR; GARG, 2017; LEE et al., 2008).

Assim, este estudo uniu esses dois métodos muito utilizados, em uma ferramenta que auxilia a solução de problemas. Por meio dela, foi possível avaliar o nível de competitividade do biocombustível estudado, avaliando os critérios mais críticos que o método AHP priorizou.

### 2.7.1 Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

Desenvolvido por Thomas Saaty, o método o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é utilizado para solucionar diversas adversidades complexas. Ele permite dividir o problema de decisão inicial em níveis hierárquicos, assim, a compreensão é melhor percebida na avaliação. O método considerado multicritério, ou seja, permite avaliar vários critérios que podem ser necessários para uma decisão final entre diferentes alternativas, por meio da avaliação par a par. (LEE; CHEN; CHANG, 2008; SAATY, 2008; SAATY, 2009; SAATY; VARGAS, 2013; MARDANI et al., 2016).

Os autores Vaidya e Kumar (2006) publicaram um estudo abordando as aplicações do método multicritério AHP. Nas revisões de literatura foram encontradas mais de 150 aplicações do método AHP nos mais diversos setores, isso salienta que o método pode ser aplicado em quase todos os problemas que envolvem a tomada de decisão em cenários onde há diferentes alternativas possíveis. Então, alguns desses trabalhos serão demonstrados a seguir.

Freitag (2019) utilizou o método AHP para avaliar a competitividade do uso do gás natural veicular em diversos cenários com 38 indicadores de desempenho.

Ubando et al. (2016) apresentam um modelo utilizando análise multicritério AHP para avaliação de quatro diferentes tipos de cultivo de microalgas para produção de biocombustível. Foram considerados como critérios: limite energético, emissão de dióxido de carbono e consume hídrico.

Mohseni, Pishvae e Sahebi (2016) avaliou por meio de um modelo multicritério AHP a melhor localização de uma usina para produção de biocombustíveis a base de algas, considerando a produção e a distribuição do combustível no Irã. Foram utilizados algoritmos meta heurísticos e modelo multicritério para atingir o resultado.

Benjamin, Tan e Razon (2015) elaboraram uma avaliação da produção de uma usina de bioenergia, considerando possíveis interrupções na produção. Por meio do modelo multicritério AHP os autores conseguiram medir a robustez do sistema em diferentes cenários.

Wheeler, Caballero, Ruiz-Femenia, Guillén-Gosálbez e Mele (2017) combinaram método multicritério AHP com programação não linear com o objetivo de simplificar os problemas de engenharia sustentável. O modelo aborda as capacidades de um projeto sustentável na cadeia de açúcar/etanol.

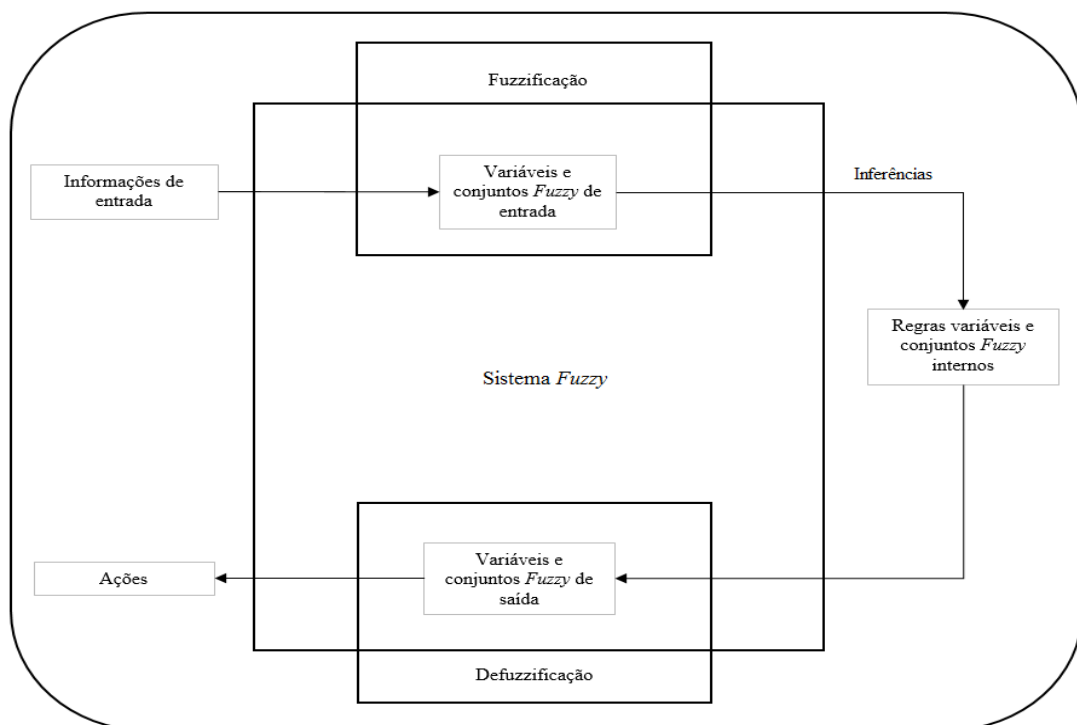
## 2.7.2 Sistema da Lógica Fuzzy

A lógica *Fuzzy* foi criada por Zadeh em 1965 propondo a existência de valores infinitos entre 0 e 1. Os valores entre um intervalo numérico são caracterizados por vetor de pertinência  $\mu$ , expressando que um elemento para pertencer ao conjunto *Fuzzy* deve necessariamente estar dentro de um grau de pertinência. Essa pertinência compreende três intervalos: zero, não pertence, 1 ou pertence total. Assim um conjunto fuzzy “A” em um universo “X” é compreendido pela função de pertinência  $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$  (CHOUINARD; ACHICHE; BARON, 2019).

Os algoritmos *Fuzzy* são utilizados para a solução de problemas de controle. O primeiro trabalho envolvendo esses algoritmos foi a criação de um método para o processo de decisão baseado em regras condicionais “Se A então B”, na qual o antecedente e o consequente são valores de variáveis linguísticas traduzidas por meio dos conjuntos *Fuzzy* (MANDANI; ASSILAN, 1975).

O desenvolvimento de controladores *Fuzzy* acontece por meio de três etapas: fuzzificação, interferência e defuzzificação. O sistema básico da lógica *Fuzzy* é demonstrado na Figura 17.

Figura 17 – Estrutura do controlador lógico *Fuzzy*



Fonte: Adaptado de Barros (1997).

A entrada do modelo acontece na fuzzificação etapa que converte as entradas em valores linguísticos pertinentes para que após as informações possam ser comparadas as regras. A segunda etapa são a base de regras que engloba o conhecimento sob forma de um conjunto de regras, por onde a estrutura de inferência irá avaliar quais as regras que serão proeminentes no momento atual e após decidirá o resultado. Por fim, a saída do sistema ocorre na defuzzificação. Salienta-se que fuzzificar é o mesmo que codificação e defuzzificar é a decodificação das informações. Nessa etapa o sistema converte as conclusões alcançadas pela estrutura de inferência em uma saída exata (KAMBOJ; KAUR, 2013).

Nassef et al. (2019) utilizou a lógica *Fuzzy* para criar um modelo de otimização do processo de extração de lipídios de microalgas para formulação de biodiesel, melhorando a extração em 22% em comparação ao obtido experimental com a ANOVA©.

Ahmed e Sakar (2019) utilizaram abordagem *Triple bottom* e lógica difusa para projetar uma estrutura de cadeia de suprimentos sustentável que minimize as emissões totais de carbono e o custo total, e maximize a quantidade de novas oportunidades de emprego em um biocombustível de segunda geração.

Inayat et al. (2019) desenvolveram um modelo utilizando lógica *Fuzzy* para verificar a influência de diferentes parâmetros, como: temperatura da reação (°C), período da reação (min), razão óleo / metanol e quantidade de catalisador (% em peso) na produção de biodiesel. O biodiesel foi formulado a partir de óleo de fritura utilizando argila montmorilonita K-30 como catalisador.

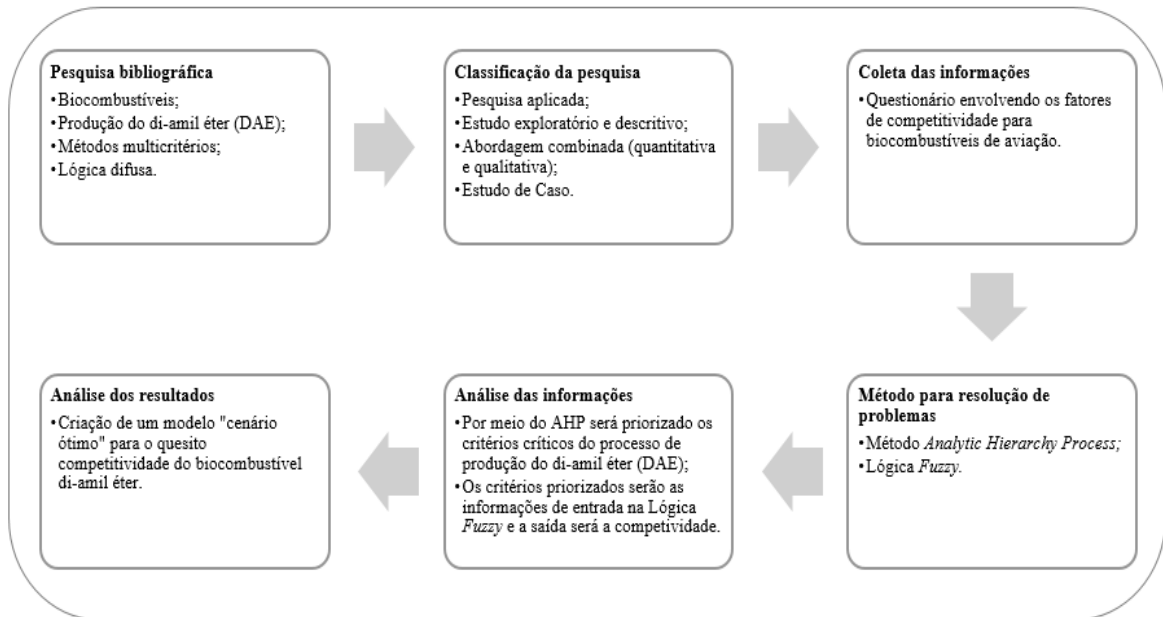
Paul e Sarkar (2020) utilizaram o Fuzzy para a seleção de biocombustível analisando diferentes aspectos como propriedades do combustível, desempenho do motor e emissões. Os autores analisaram cinco biocombustíveis para determinar qual é o mais robusto no que diz respeito os benefícios técnicos, sociais, ambientais e econômicos.

Asadi, Guo e McPhedran (2020) utilizaram lógica difusa para estimar as taxas de produção de biogás (incluindo metano, dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio) dos digestores anaeróbicos da estação de tratamento de água residual de Saskatoon no Canadá. Devido as oscilações médias diárias de temperaturas na região oscilarem muito ao longo do ano, o processo torna-se desafiador. O grupo conseguiu criar um modelo que estima a geração de biogás na região considerando as variações sazonais de temperaturas entre outros fatores que impactam na produção.

### 3 MÉTODO DA PESQUISA

Nessa seção serão apresentados o método que a pesquisa adotará para atingir os objetivos, a partir da classificação da pesquisa seu contexto e as etapas de desenvolvimento.

Figura 18 – Procedimentos da pesquisa



Fonte: Autor (2020).

Esse estudo classifica-se como pesquisa aplicada com abordagem combinada sendo considerado do tipo estudo de caso. Por meio de investigação do fenômeno, descrevendo suas características e aplicando um método busca-se solucionar o problema de pesquisa: descobrir se o di-amil éter (DAE) é competitivo como biocombustível para aviação. A coleta de informações é por meio de questionário, detalhado mais adiante no tópico instrumento de pesquisa.

O método utilizado para a solução de problemas foi o método multicritério AHP e lógica *Fuzzy*. Esses métodos foram escolhidos pois são bem difundidos e solucionam problemas das mais diversas naturezas conforme já apresentado no tópico: métodos multicritérios de apoio a tomada de decisão (BILLIG; THARAEN, 2017; BAUDRY; MACHARIS; VALLÉE, 2018; CHEN; REN, 2018; TAN et al., 2017). Além disso, na análise bibliométrica observou-se que esses métodos já foram utilizados em estudos envolvendo a produção de biocombustíveis das mais variadas formas.

O método AHP auxilia o gestor na tomada de decisão pois proporciona analisar um problema de multicritérios de forma simultânea em uma hierarquia, além disso, o AHP avalia a importância relativa desses critérios, comparando par a par e determina um *ranking* total (COSTA, 2006). Um detalhe que merece a atenção, no método AHP clássico o gestor unido com o tomador de decisão elabora critérios e alternativas para solução do problema geral. Nesta pesquisa, a contribuição do método AHP servirá apenas para avaliar e ranquear os critérios. Assim, não serão criadas alternativas, o método AHP foi adaptado na sua utilização, sendo os resultados dos critérios priorizados o fim da utilização do método para posterior início da modelagem *Fuzzy*.

A lógica *Fuzzy* ou difusa, também serve para auxílio na tomada de decisão, entretanto seu sistema de funcionamento respeita fatores que afetam o desempenho do que está sendo avaliado. O sistema lógico *Fuzzy* busca solucionar problemas cuja as informações são incertas, ou seja, busca respostas aproximadas aos problemas associados a eventos naturais (OLIVEIRA, 2014).

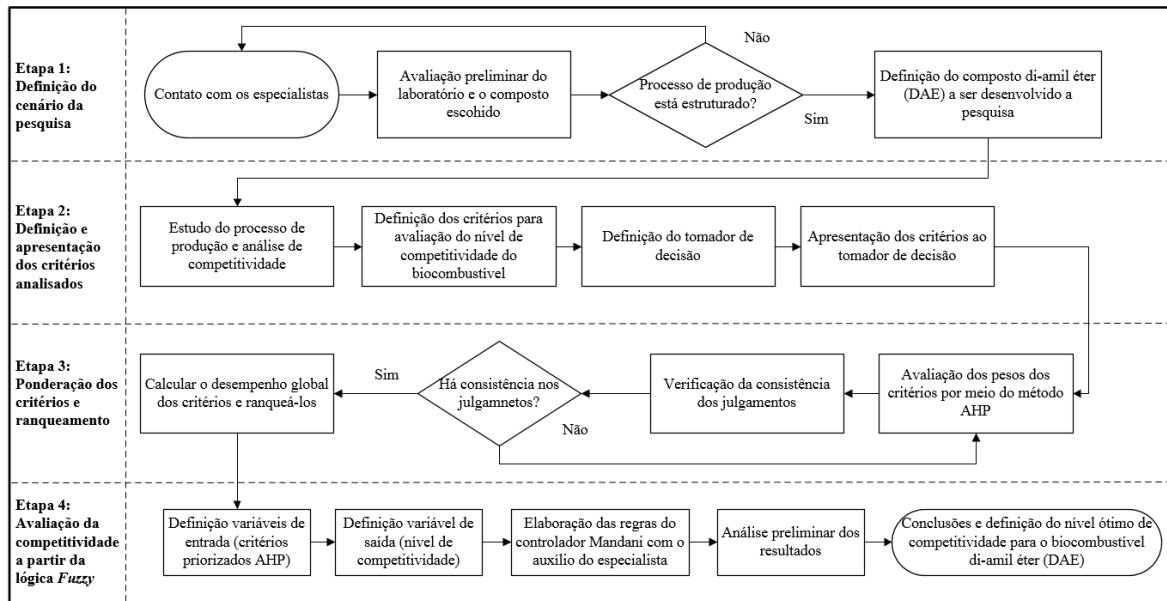
Assim, com a utilização dos métodos apresentados, este estudo propõe analisar a competitividade do biocombustível di-amil éter (DAE) como biocombustível de aviação. O método AHP foi utilizado para *ranking* dos critérios críticos da produção do biocombustível e a lógica *Fuzzy*, por meio de seus mecanismos de avaliação, com as variáveis de entrada (critérios priorizados AHP) e a variável de saída (competitividade) o sistema foi modelado.

### 3.1 FLUXOGRAMA DA PESQUISA

Para melhor entendimento dos passos que esta pesquisa percorreu, na Figura 19 é demonstrado o fluxograma dos caminhos percorridos para atingir os objetivos. Serão quatro etapas que percorrem a definição do cenário da pesquisa, os critérios analisados, os métodos propostos e a análise dos resultados.



Figura 19 – Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autor (2020).

Esta pesquisa percorreu as quatro etapas demonstradas no fluxograma. Cada uma dessas etapas a partir de agora serão melhor detalhadas. Nos próximos tópicos, serão apresentados: o cenário da pesquisa; elaboração do instrumento de coleta de informações; e os métodos que irão avaliar as informações.

### 3.2 CENÁRIO DA PESQUISA

O cenário de estudo é o laboratório de biomateriais situado na cidade de Porto Alegre no Rio Grande do Sul. O laboratório dedica-se no desenvolvimento de novas tecnologias em energia renovável utilizando matérias-primas nacionais. Além disso, há pesquisas no desenvolvimento e otimização de processos de transesterificação e hidroesterificação.

Assim, por meio de contato com os pesquisadores que desenvolveram e patentearam o composto di-amil éter (DAE) e especialistas da área de biocombustíveis este estudo coletou as informações necessárias. Salienta-se a importância de analisar a competitividade do composto pois é o primeiro passo para que o biocombustível patenteadado comece a amadurecer e desperte a atenção de investidores e/ou partes interessadas.

### 3.3 INSTRUMENTO DA PESQUISA

Considerando o levantamento das informações necessita-se classificar quanto ao tempo que foi analisado o fenômeno de estudo. No estudo, foi utilizado o método *survey* transversal, ou seja, foi mensurado um fenômeno em num corte temporal do tempo, evidenciando as características apresentadas naquele momento de estudo (GOLÇALVES; MEIRELLES, 2004; YIN, 2016). Em outras palavras, foi analisado todas as características que envolvem a produção do composto di-amil éter (DAE) no quesito competitividade.

De acordo com a técnica de coleta de informações para analisar o fenômeno definida, foi utilizado um questionário envolvendo várias recomendações de agências regulamentadoras, conselhos de pesquisa, partes interessadas e também as metodologias propostas pelos autores, todas essas descritas nos tópicos “competitividade em biocombustíveis” e “agências certificadoras e partes interessadas”. Essa combinação de informações foi necessária pois não há uma ferramenta ou um estudo de caso específico que analise a competitividade de biocombustível de aviação. Assim, devido ao contexto de produção do bioquerosene ainda ser considerado como novo, esta pesquisa necessitou buscar informações em estudos de caso já bem-sucedidos envolvendo os elementos de competitividade em outros biocombustíveis (etanol e biodiesel). Somado a isso, para formalizar o questionário foram analisadas as recomendações propostas por especialistas no campo de biocombustíveis. Após o estudo de todas essas informações citadas acima, foi possível elaborar o instrumento da pesquisa.

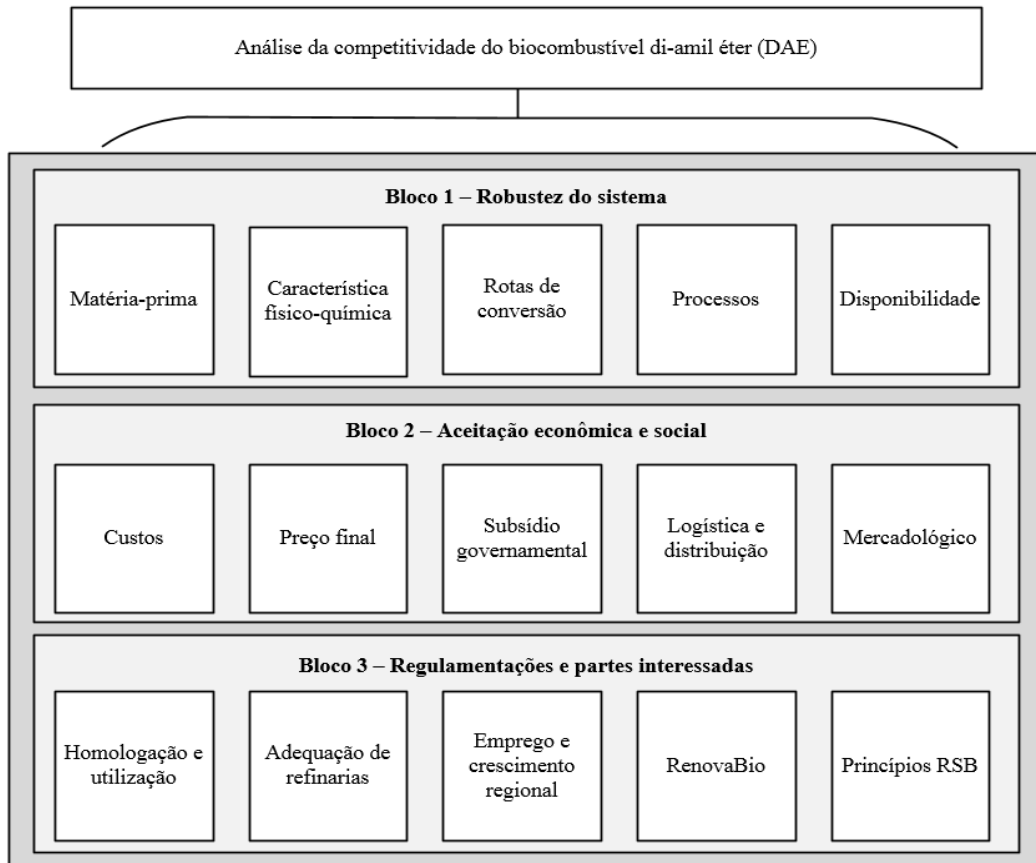
O presente questionário foi inspirado em estudos produzidos pela *National Research Council* (NRC). Essa organização científica produz e promove o desenvolvimento da engenharia sustentável com atuação nos biocombustíveis a base de algas. Seus especialistas recomendam cinco critérios para avaliar o desenvolvimento de biocombustíveis: consumo de energia, robustez do sistema, impacto ambiental, aceitação social e economia (NRC, 2013). Utilizando essas informações como partida inicial, é possível elaborar os próprios critérios que impactam na competitividade do biocombustível estudado. Salienta-se que a adaptação se faz necessária pois não foi encontrado na literatura uma aplicação dos critérios produzidos pela NRC em biocombustíveis que não são a base de algas. Assim, com a adaptação, a ferramenta de coleta das informações se modelou no problema da pesquisa, reduzindo erros e inconsistências que poderiam ocorrer, sendo possível melhor avaliar o biocombustível di-amil éter (DAE).

O método AHP é muito utilizado quando busca-se solução para problemas envolvendo decisão de energia, planejamento de sistemas e também projetos ambientais (HUANG et al., 2012; POHEKAR; RAMACHANDRAN, 2004). A metodologia AHP contribuiu com o estudo pois priorizou os critérios mais críticos do problema de estudo, após a lógica *Fuzzy* foi aplicada para modelar o sistema. Então, no sistema de lógica difusa foi proposto como as variáveis de entrada os critérios mais priorizados (obtido pela AHP) e a variável de saída foi a competitividade. No próximo tópico é explicado os passos de raciocínio do método AHP.

### 3.4 HIERARQUIA DO ESTUDO

Primeiro é necessário criar a árvore hierárquica do método AHP, construída com base em três blocos. O primeiro bloco representa a robustez do sistema, o segundo bloco aceitação social e econômica e por fim regulamentação e partes interessadas. Nesses três blocos propostos foram criados cinco critérios em cada bloco. Na Figura 20 é apresentado a hierarquia do estudo.

Figura 20 – Hierarquia do estudo



A análise de competitividade do biocombustível conta com quinze critérios distribuídos nos três blocos. Esses critérios são todos elementos que podem impactar no nível de competitividade do composto. A formulação desses critérios apenas foi possível após os estudos nos direcionadores de competitividade mensurados no tópico 2.6, somados com os estudos das agências e partes interessadas descritas no subtópico 2.6.1. Assim, com base nessas informações o autor elaborou os critérios demonstrados na Figura 20. No Quadro 7 é apresentado a definição de todos esses critérios.

Quadro 7 – Critérios do estudo

(continua)

<b>Critérios</b>	<b>Definições</b>	<b>Autores</b>
Matéria-prima	Compreende a escolha do insumo necessário para a produção do biocombustível. A biomassa é toda a matéria orgânica utilizada para a produção de energia limpa. Por exemplo, cana-de-açúcar, mamona, soja, canola, algas entre outras matérias-primas podem ser utilizadas para produção de bioquerosene.	Luz Jr et al. (2009); Antunes & Silva (2010); Branco (2014).
Rotas de conversão	Esse critério compreende a importância da escolha da rota de produção. Existem cinco rotas aprovadas pela <i>American Society for Testing and Materials</i> (ASTM) para a produção de biocombustível. Fischer-Tropsch (FT); Hydroprocessed esters and fatty acids (HEFA); Alcohol (isobutanol) to jet (ATJ); Alcohol (ethanol) to jet (ATJ) e Synthesized iso-paraffins (SIP).	Cortez et al. (2013); Cataluña et al. (2018); ANP (2017); Irena (2017); Sampaio et al. (2017).
Característica físico-química	Um biocombustível precisa possuir as características físico-químicas semelhantes com o querosene tradicional de aviação (QAV-1) para ser misturado e utilizado nas turbinas de aeronaves. As normas técnicas estabelecidas pela <i>American Society for Testing and Materials</i> (ASTM); <i>Energy Institute</i> (IP) e nacionalmente pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) estabelecem padrões para as seguintes características: aparência, composição, volatilidade, fluidez, combustão, corrosão, estabilidade, contaminantes, condutividade, lubrificidade e porcentagem de mistura.	Cortez et al. (2013); Freire (2014); ANP (2017); Sampaio et al. (2017).
Processo	Para produção de biocombustível, deve-se possuir um sistema de produção padronizado. Garantir confiabilidade dos processos químicos são importantes para que o produto final possua alta qualidade constante, independente da escala de produção.	César (2012); Cataluña et al. (2018).
Disponibilidade	Esse critério representa a escala de produção, ou seja, a garantia que um determinado volume de produção seja atendido. A produção de um biocombustível não deve sofrer interrupções, pois para atender as aeronaves deve-se possuir produção contínua do biocombustível. A disponibilidade compreende o produto final e os insumos intermediários em todo o sistema produtivo (cultivo de matéria-prima, insumos, produção e produto final).	César (2012); Azevedo (2016); EPE (2018).
Logística e distribuição	Representa a cadeia de distribuição do biocombustível, para que o produto final chegue aos clientes. Entende-se como uma logística que colete e distribua o biocombustível da origem até o destino.	Bartholomeu (2006); Macedo (2010); Cortez et al. (2013).

Quadro 7 – Critérios do estudo

(conclusão)

<b>Critérios</b>	<b>Definições</b>	<b>Autores</b>
Custos	Esse critério compreende os custos: projeto, equipamentos, insumos, impostos e demais elementos que representam empecilhos financeiros para que a produção do biocombustível em uma escala seja viável.	Barbosa (2007); Fiorese (2011); EPE (2018).
Preço final	Esse critério representa o preço por litro que o biocombustível é comercializado. Além disso, leva-se em consideração que o preço por litro do bioquerosene é comparado com o tradicional querosene de aviação (QAV-1).	Barbosa (2007); EPE (2018).
Subsídio governamental	Esse critério representa o grau de incentivo governamental para o fomento da tecnologia. Incentivos fiscais, políticas públicas, regulamentações e parceria público-privada.	Vilt (2017); Azevedo (2016); Melo (2018).
Emprego e crescimento governamental	Esse critério avalia a ampliação de postos de trabalho, desenvolvimento econômico regional.	Branco (2009); Azavedo (2016); Vilt (2017)
Mercadológico	Avalia o grau de aceitabilidade e as dificuldades na comercialização do biocombustível em um mercado dominado por combustíveis fósseis. Sabe-se que um biocombustível compete com a indústria de combustível fóssil que está atuante a século.	Troster (2004); Pindyck; Rubinfeld (2006); Azevedo (2016).
Adequação de refinarias	Esse critério compreende possível adaptação das, já em funcionamento, plantas de produção para produzir o biocombustível. Novos equipamentos, expansões, entre outros elementos que podem ser necessários para a produção.	Chaves (2014); EPE (2018).
Homologação e utilização	Avalia o grau de importância em se homologar e poder utilizar o biocombustível. A Agência Nacional do Petróleo (ANP) estabelece vários regulamentos e testes para que um biocombustível seja certificado e comercializado nacionalmente.	ANP (2017); Ribeiro (2017).
RenovaBio	O RenovaBio faz parte do programa nacional dos biocombustíveis. Uma política para ajudar a definir estratégias de segurança energética e redução de emissão de gases de efeito estufa. Assim, esse critério representa a importância desse programa para o desenvolvimento do bioquerosene.	Silva & Souza Filho (2007); Batalha & Souza Filho (2009); EPE (2018).
Princípios RSB	Os princípios e critérios da <i>Roundtable Sustainable Biomaterials</i> (RSB) descrevem como produzir biomassa, biocombustíveis e biomateriais de maneira social e economicamente viável. No total são 12 princípios e critérios que se atendidos, recebem o certificado internacional. Os 12 critérios são: Legalidade; Melhoria contínua; Emissões GEE; Direitos humanos e trabalhistas; Segurança alimentar local; Desenvolvimento rural e social; Conservação; Solo; Água; Qualidade do ar; Tecnologia e área cultivável. Assim, esse critério avalia a importância desses elementos para produção de biocombustível.	RSB (2016); Amaral (2018); Ioris (2018).

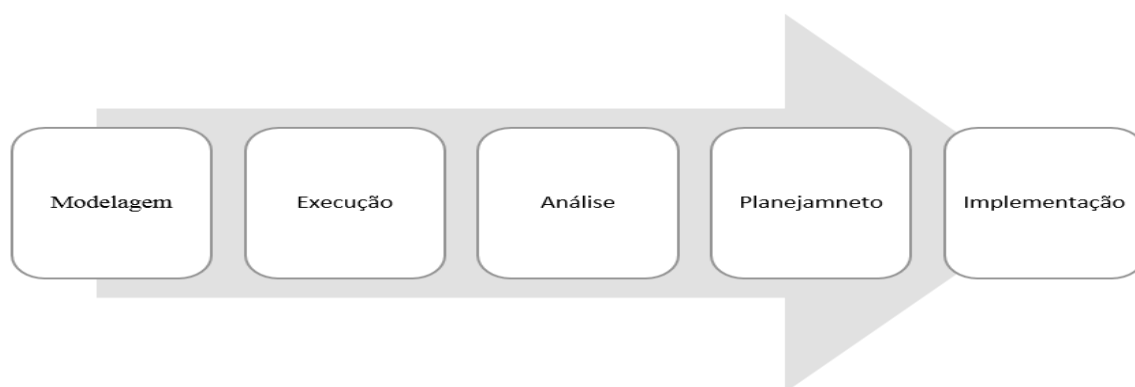
Fonte: Autor (2020).

Após a elaboração da hierarquia do estudo e a definição de todos os critérios que serão avaliados pelo método AHP, o próximo tópico é descrever os passos do método AHP.

### 3.5 MÉTODO AHP

Os passos de raciocínio para modelagem do método AHP são os seguintes: decomposição do problema em critérios; elaboração da hierarquia; análise comparativa entre os critérios por meio de uma escala numérica e a criação das prioridades por meio do cálculo entre os autos vetores ou análise do mínimo quadrado, sendo esse processo repetitivo para cada nível da hierarquia até a decisão final (BRIOZO; MUNETTI, 2015). A aplicação do método AHP na priorização dos critérios para após integração das variáveis de entrada na lógica *Fuzzy*, utilizará como base um estudo de caso proposto por Marins (2007). A Figura 21 detalha as etapas do processo de avaliação.

Figura 21 – Fluxo do processo de avaliação



Fonte: Autor (2019).

As cinco etapas representam as fases de desenvolvimento para a modelagem do método, com a finalidade de priorizar os critérios definidos durante o estudo. As etapas do processo de raciocínio da AHP são descritas no Quadro 8.

Quadro 8 – Elementos do processo

(continua)

<b>Etapas</b>	<b>Definição</b>
Modelagem	São desenvolvidos os elementos e os procedimentos que irão compor o modelo de hierarquia. Somado a isso, a integração das variáveis que impactam na competitividade.
Execução	Construção das matrizes de comparação dos critérios, cálculo da razão de consistência das matrizes, auto vetores de prioridade global. A avaliação dos critérios é por meio de combinação par a par, cada valor numérico de comparação é expresso por meio da escala Saaty. Por meio das comparações binárias feitas pelo tomador de decisão se constrói uma matriz de comparação por pares para cada critério.

## Quadro 8 – Elementos do processo

(conclusão)

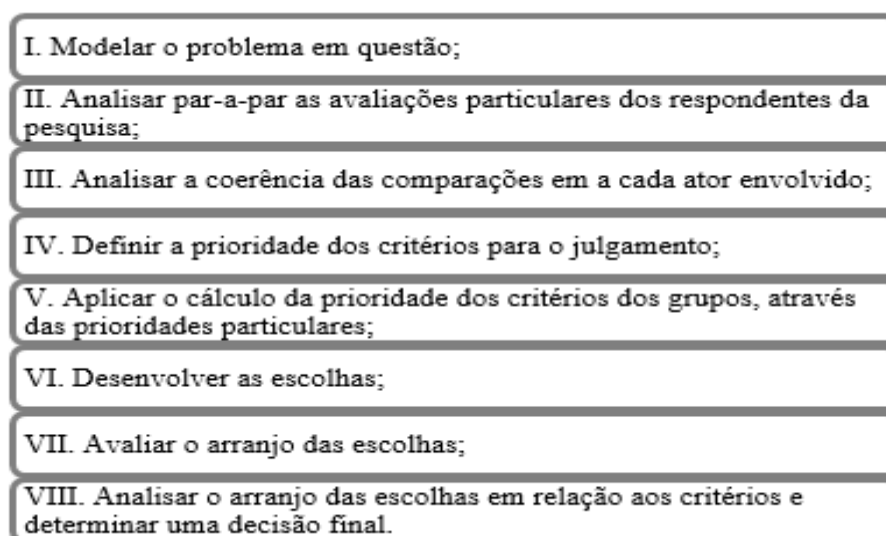
<b>Etapas</b>	<b>Definição</b>
Análise	Constitui a análise das informações coletadas e dos resultados dos métodos anteriores. Por meio do vetor de prioridade global e do desempenho dos critérios avaliados, é definido a hierarquia. Além disso, também é analisado a consistência do método.
Planejamento	Com base no resultado da etapa Análise é definido o planejamento do processo de integralização das variáveis. O resultado é repassado aos especialistas que definem como ocorrerá o processo de integralização na lógica <i>Fuzzy</i> .
Implementação	Essa etapa representa a interpretação e as ações. A programação da implementação foi efetuada por meio das variáveis <i>Fuzzy</i> com o controlador <i>Mandani</i> .

Fonte: Autor (2020).

Após o desenvolvimento dessas cinco etapas para a modelagem do método AHP serão priorizados os critérios considerados mais críticos para o fator competitividade. Os critérios priorizados serão utilizados como variáveis de entrada na lógica *Fuzzy*.

O método AHP é baseado na divisão do problema em níveis hierárquicos para melhor compreensão e avaliação. Cria-se uma hierarquia para descrever o problema estudado, iniciando com o objetivo global e após segmenta-se em partes (critérios, n-subcritérios e alternativas) (SAATY; 2008, SAATY; VARGAS; 2013). Na Figura 22 é representado o procedimento do método AHP.

Figura 22 – Procedimento da AHP



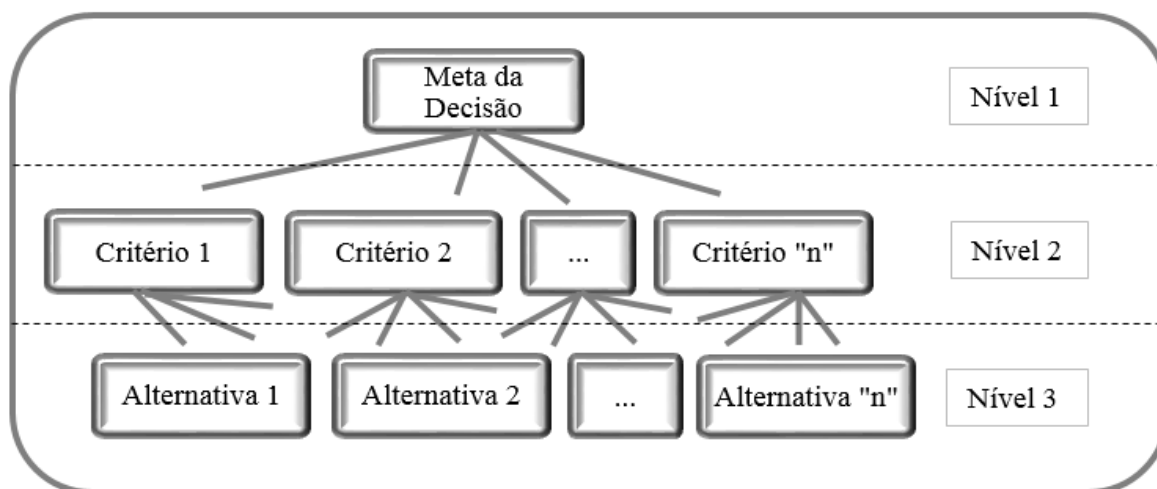
Fonte: Belderrain (2005).

Por meio desses passos, o método propõe padronizar o processo de realizar uma decisão. Isso acontece por meio de modelagem matemática. O gestor poderá resolver problemas nos quais existem inúmeros objetivos a serem alcançados.

Hierarquizar ajuda a descrever o problema inicial. Partindo do pressuposto que se tem um objetivo global, pode-se decompor essa ideia em partes, após solucionar cada parte individualm, com isso, conclui-se que ao somar as soluções em partes atinge-se o objetivo global (FALCONE; FELICE; SATTY, 2009). O método fornece um modelo para tomada de decisão e classificação, permitindo administrar e formular soluções para problemas que são flexíveis (SAATY, 2009; WIND; SAATY, 1980).

O primeiro passo é decompor o problema em uma árvore hierárquica. Nesse momento identifica-se os critérios que deveram ser atendidos para a solução do objetivo global. Em seguida, respeitando os critérios cria-se as alternativas para a solucionar o problema inicial (SAATY, 2009). A Figura 23 demonstra a hierarquia de um modo mais organizado.

Figura 23 – Hierarquia de critérios



Fonte: Marins et al. (2009).

Assim, o modelo das hierarquias demonstra que pode ser simples ou complexo, pois quanto mais critérios mais cruzamento de informações se dará entre o nível 2 e o nível 3 e isso aumentará a complexidade do problema. Após a hierarquia construída, cada decisão deve comparada, par a par, os elementos em um nível hierárquico e após elaborar uma matriz de decisão (BELDERRAIN; SILVA, 2005; CARVALHO; KRUK; BELDERRAIN, 2016). Ainda segundo o autor, essa matriz de decisão contará com uma escala predefinida que representa a preferência entre os elementos comparados.



A comparação par a par converte as informações qualitativas em quantitativas por meio da escala de Saaty para depois ser efetuado os julgamentos (CARVALHO, 2016). Os valores relativos a escala de Saaty compreende 1 até 9 pontos e seus recíprocos. Essa escala ajuda a avaliar o grau de importância das informações analisadas. Logo abaixo, tem-se a Tabela 1 para demonstrar esse assunto.

Tabela 1 – Escala de Saaty

Escala	Avaliação	Recíproco
Preferido ao extremo	9	1/9
Muito forte a extremo	8	1/8
Muito forte preferido	7	1/7
Forte a muito forte	6	1/6
Fortemente preferido	5	1/5
Moderado a forte	4	1/4
Moderadamente preferido	3	1/3
Igual a moderado	2	1/2
Igualmente preferido	1	1

Fonte: Adaptado de Saaty (2008).

Ao realizar os julgamentos e utilizando as informações da escala Saaty para o cálculo dos pesos, o próximo passo é analisar a consistência. A consistência é formada por meio de um montante de informações brutas de base determinada, as demais são deduzidas pelos anteriores. Saaty criou o cálculo para avaliar se há consistência no julgamento das informações. O índice de consistência (IC) é dado pela equação abaixo realizado pela comparação par a par.

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1} \quad (1)$$

Onde:

“n” é a ordem da matriz.

$\lambda_{max}$  é o maior autovalor da matriz de julgamento par a par.

Para o cálculo do autovalor máximo, usa-se uma tabela auxiliar (B), a qual é obtida pela multiplicação da 1º coluna do matriz julgamento pela prioridade de (A), e assim por

diante. Para a realização do cálculo considera-se um vetor de prioridades auxiliar (C), e esse valor é encontrado pela soma das linhas de (B), divide-se os elementos do vetor (C), pelos respectivos do vetor de prioridades (D). O  $\lambda_{max}$  é representa a soma das informações armazenados em (D) dividida pela ordem da matriz (N).

Por meio da razão consistência (RC) é possível calcular e avaliar a inconsistência em função dos julgamentos apresentados, por meio dessa equação:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Após o RC tem o índice de consistência (IC) e o índice randômico (IR). O índice randômico é apresentado como o índice de consistência que é resultado para uma matriz randômica recíproca, com elementos não negativos, para vários tamanhos da matriz (N). A próxima Tabela 2 visualiza-se a ordem de matrizes com os respectivos valores.

Tabela 2 – Índice de consistência

Dimensão da matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Inconsistência aleatória	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Saaty (2008).

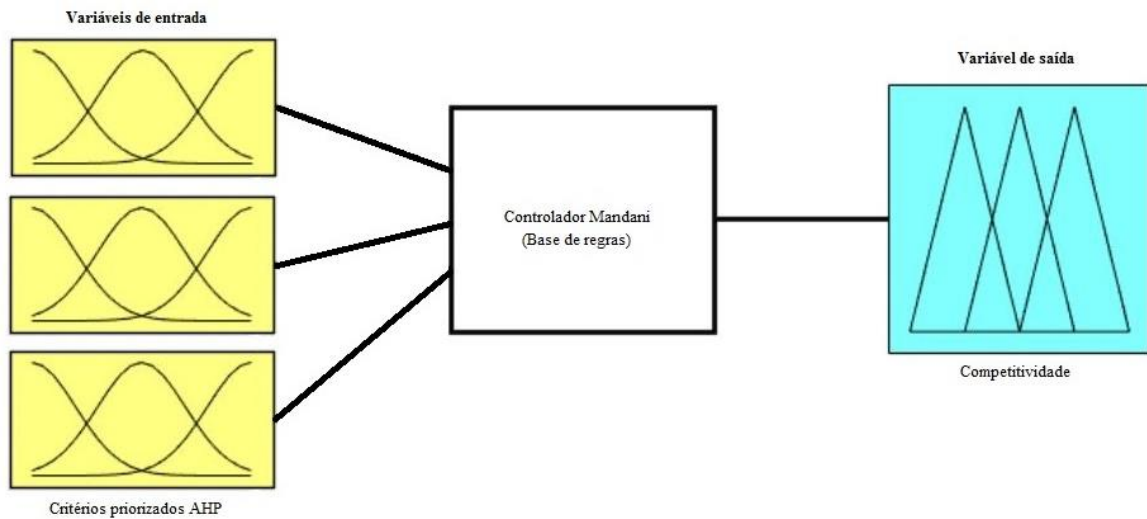
Para realizar uma matriz que fosse admissível, a pesquisa precisa ter um IR com razão de consistência menor ou igual a 10%. Para julgar as informações utilizou-se a escala de Saaty com os seus 9 pontos e os recíprocos. Os pesos 3,5,7 e 9 são a ordem de grandeza para a comparação para a par. Os pesos 2,4,6 e 8 são os valores intermediários e o peso 1 é o valor de igualdade de importância. Por meio desses pesos, foi possível comparar par a par os critérios do estudo.

### 3.6 ABORDAGEM LÓGICA FUZZY

Para a modelagem do sistema baseado em lógica *Fuzzy* serão utilizados os critérios priorizados pelo método AHP. O software MATLAB® por intermédio do módulo *Fuzzy Logic Toolbox* foi utilizado para modelar o sistema. Salienta-se que a construção da estrutura

do sistema foi em função triangular, baseado nas seguintes regras: base de conhecimento, fuzzificador, método de inferência e um defuzzificador. A Figura 24 demonstra as variáveis de entrada do modelo e a variável de saída.

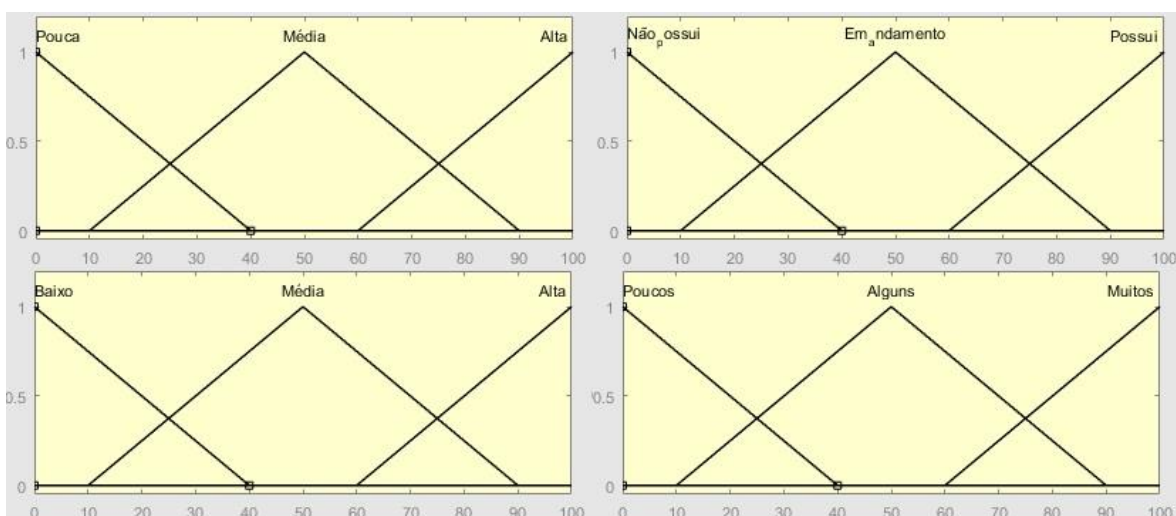
Figura 24 – Variáveis *Fuzzy*



Fonte: Autor (2020).

A quantidade de variáveis de entrada foi definida para após aplicação do método AHP, os critérios com maior grau de importância serão selecionados para compor as variáveis de entrada *Fuzzy*. Os domínios de intervalo das variáveis foram definidos com os especialistas. Além disso, a construção dos conjuntos *Fuzzy* foi, em função triangular, com três características linguísticas, essas foram estimadas com base na classificação relativa ao estado do sistema em cada uma das variáveis com as faixas definidas em 0; 40; 60; 100. A Figura 25 apresenta as quatro funções do sistema, isso foi necessário pois alguns dos critérios analisados possuem caracterização linguística diferente.

Figura 25 – Funções triangulares



Fonte: Autor (2020).

A diferente nomenclatura do estado das variáveis é apenas uma adaptação para a linguagem da variável. Os resultados da defuzzificação foram calculados por meio do método centro de gravidade, também utilizado por Sellitto (2002) e Perissinotto et al. (2009). Assim, com a aplicação da lógica *Fuzzy* é possível definir um ponto de equilíbrio na análise da competitividade do biocombustível, indicando quais são os menores níveis das variáveis de entrada que são necessários para se manter um nível mínimo de competitividade aceitável para a produção do composto.

A criação da base de regras para o módulo *Fuzzy* também foi definido por meio dos respondentes.

## 4 RESULTADOS

Nesse tópico são apresentados os resultados proporcionados pela aplicação das ferramentas do estudo. Somado a isso, serão detalhados o desenvolvimento do método AHP e da lógica *Fuzzy*.

### 4.1 PÚBLICO ALVO

O público alvo que avaliou o estudo foi definido por meio de contatos no laboratório que patenteou o biocombustível. Para isso, o instrumento de coleta de informações da pesquisa foi enviado a cinco especialistas (todos com doutorado no campo de bioenergia e mais de dez anos de atuação em pesquisas na área) que desenvolveram o composto e também a cinco pessoas que possuem ligação em centros de pesquisa, fundações e empresas na área de biocombustíveis no Brasil, totalizando dez respondentes. Após as coletas das informações, foi efetuado uma média simples das respostas, para ser possível avaliar a competitividade do biocombustível estudado em conformidade com os métodos de estudo.

### 4.2 DESENVOLVIMENTO DO AHP

Após a definição dos critérios e criação da hierarquia do estudo, o próximo passo é a construção das matrizes de comparação par a par e a definição dos vetores de prioridades de cada critério. Nesse momento, o tomador de decisão realiza as avaliações e calcula os vetores de cada critério (SAATY, 2008). A matriz de comparação é representada na Tabela 3 e na Tabela 4 estão os vetores normalizados.

Tabela 3 – Comparação entre critérios

CRITÉRIOS	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7	Cr8	Cr9	Cr10	Cr11	Cr12	Cr13	Cr14	Cr15
Cr1	1	3	3	3	1	5	1	3	7	1	5	5	1	1	1
Cr2	1/3	1	1	1	1/3	3	1/3	1	5	1/3	3	3	1/3	1/3	1/3
Cr3	1/3	1	1	1	1/3	3	1/3	1	5	1/3	3	3	1/3	1/3	1/3
Cr4	1/3	1	1	1	1/3	3	1/3	1	5	1/3	3	3	1/3	1/3	1/3
Cr5	1	3	3	3	1	5	1	3	7	1	5	5	1	1	1
Cr6	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1	1/5	1/3	3	1/5	1	1	1/5	1/5	1/5
Cr7	1	3	3	3	1	5	1	3	7	1	5	5	1	1	1
Cr8	1/3	1	1	1	1/3	3	1/3	1	5	1/3	3	3	1/3	1/3	1/3
Cr9	1/7	1/5	1/5	1/5	1/7	1/3	1/7	1/5	1	1/7	1/3	1/3	1/7	1/7	1/7
Cr10	1	3	3	3	1	5	1	3	7	1	5	5	1	1	1
Cr11	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1	1/5	1/3	3	1/5	1	1	1/5	1/5	1/5
Cr12	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1	1/5	1/3	3	1/5	1	1	1/5	1/5	1/5
Cr13	1	3	3	3	1	5	1	3	7	1	5	5	1	1	1
Cr14	1	3	3	3	1	5	1	3	7	1	5	5	1	1	1
Cr15	1	3	3	3	1	5	1	3	7	1	5	5	1	1	1
<b>SOMA</b>	9	26 1/5	26 1/5	26 1/5	9	50 1/3	9	26 1/5	79	9	50 1/3	50 1/3	9	9	9

Fonte: Autor (2020).

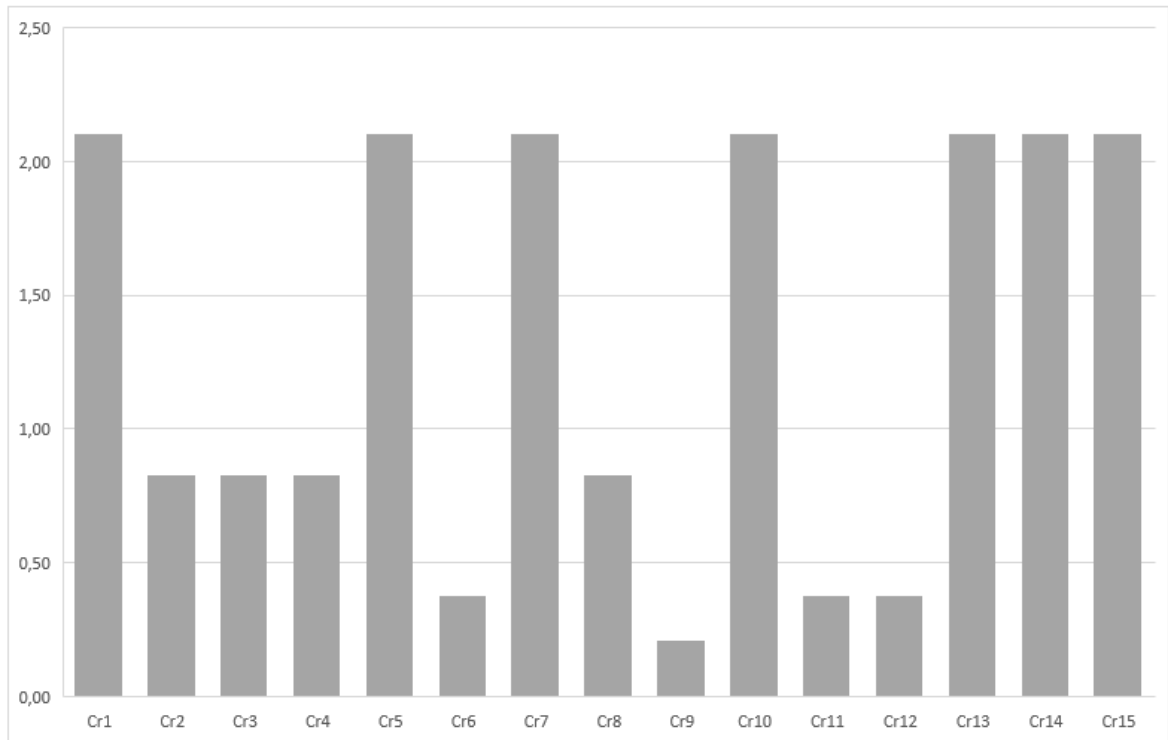
Tabela 4 – Autovalor e vetor normalizado

	Auto valor	Vetor normalizado
<b>Cr1</b>	2,11	11%
<b>Cr2</b>	0,83	4%
<b>Cr3</b>	0,83	4%
<b>Cr4</b>	0,83	4%
<b>Cr5</b>	2,11	11%
<b>Cr6</b>	0,38	2%
<b>Cr7</b>	2,11	11%
<b>Cr8</b>	0,83	4%
<b>Cr9</b>	0,21	1%
<b>Cr10</b>	2,11	11%
<b>Cr11</b>	0,38	2%
<b>Cr12</b>	0,38	2%
<b>Cr13</b>	2,11	11%
<b>Cr14</b>	2,11	11%
<b>Cr15</b>	2,11	11%
<b>SOMA</b>	19,41	100%

Fonte: Autor (2020).

Após todos os cálculos, já é possível saber quais foram os critérios que obtiveram maior peso no método AHP. De acordo com o método, houve um empate, mesmo valor do grau de importância, em sete critérios. Assim, foi analisado os sete critérios empatados: Cr1, Cr5, Cr7, Cr10, Cr13, Cr14 e Cr15. Esses sete critérios representam respectivamente: Matéria-prima; Disponibilidade; Custos; Emprego e crescimento regional; Homologação e utilização; RenovaBio; e Princípios RSB.

Figura 26 – Critérios priorizados



Fonte: Autor (2020).

O gráfico acima ilustra os resultados da aplicação do método AHP. A análise do grau de importância de cada critério, traduz a tomada de decisão dos especialistas em relação a influência da competitividade. Além disso, a análise dos julgamentos permite traduzir as informações antes qualitativas em quantitativas.

Agora é necessário analisar se há consistência nas informações encontradas. Esses índices abaixo tem a função de verificar se há consistência nas respostas que foram atribuídas pelo tomador de decisão. O cálculo dos índices segue a metodologia proposta por Saaty (1991). Na Tabela 5 são apresentados os índices de consistência das respostas.

Tabela 5 – Índices de consistência

Índices	Valores
$\lambda_{max}$	15,18
Índice de consistência (IC)	0,013
Razão de consistência (RC)	0,008

Fonte: Autor (2020).

De acordo com o cálculo dos índices de consistência do modelo, o IC foi calculado em 0,013. Saaty (1991) determina que para haver consistência nas respostas, o valor encontrado de IC deve ser  $IC \leq 0,10$ . Então, há consistência nas respostas do tomador de decisão. O próximo passo é iniciar a lógica *Fuzzy* tendo como ponto de partida os sete critérios priorizados pelo método AHP.

#### 4.3 ABORDAGEM LÓGICA FUZZY

A mente humana não raciocina de forma binária (0 ou 1), mas sim com uma infinidade de opções onde há pouca existência de precisão e verdade absoluta. Na teoria *Fuzzy* há a possibilidade de uma afirmação não ser total verdadeira ou total falsa, podendo existir intervalos em uma escala contínua, pois o *Fuzzy* é baseado em uma escala intervalar, onde os números podem possuir um intervalo de  $[0;1]$ . Assim, a abordagem *Fuzzy* ajuda a preencher as lacunas existentes que não são completadas por vários métodos clássicos (BATISTA, 2013; SIMÕES; SHAW, 2007).

No *Fuzzy* as variáveis de controle assumem valores individuais, incorporando as tendências. O especialista define as regras que irá variar as variáveis de controle em todos os casos possíveis em cada uma das estratégias. Por exemplo, um caso, (Matéria-prima e Disponibilidade) = (Médio e Baixo). O especialista deve responder: o que pode acontecer com a competitividade se a matéria-prima está média e a disponibilidade está baixo? As soluções são ofertadas pelo caso selecionado e o especialista confirma ou modifica uma das regras em alguma das variáveis de controle. No exemplo acima, o especialista poderá aconselhar: adquirir mais matéria-prima para a produção e produzir mais para atender a demanda e melhorar a disponibilidade do produto.

O sistema *Fuzzy* inicia com a estratégia de otimização das variáveis de entrada de modo que o valor desejado não interfira na competitividade. Os pontos ótimos de cada variável são quantificados e determinados para cada uma das classes. Assim, a definição de cada variável e os valores linguísticos são demonstrados nos Quadro 9 e Quadro 10.



Quadro 9 – Definição das variáveis

Variáveis		Caracterização linguística	Definição
Entrada	Matéria-prima	Pouca	Matéria-prima para produção média de 10 m <sup>3</sup> de biocombustível.
		Média	Matéria-prima para produção média de 15 m <sup>3</sup> de biocombustível.
		Alta	Matéria-prima para produção média de 20 m <sup>3</sup> de biocombustível.
	Disponibilidade	Baixo	Produto deve atender em torno de 25 horas de voo/mês.
		Médio	Produto deve atender em torno de 37 horas de voo/mês.
		Alto	Produto deve atender em torno de 50 horas de voo/mês.
	Custos	Baixo	Custo mensal em combustível para gestor em torno de R\$55 mil/aeronave.
		Médio	Custo mensal em combustível para gestor em torno de R\$ 82 mil/aeronave.
		Alto	Custo mensal em combustível para gestor em torno de R\$ 110 mil/aeronave.
	Emprego e crescimento regional	Baixo	Incremento de 1% nos empregos ofertados da cadeia produtiva anual.
		Médio	Incremento de 5% nos empregos ofertados da cadeia produtiva anual.
		Alto	Incremento de 10% nos empregos ofertados da cadeia produtiva anual.
	Homologação e utilização	Não possui	Não atende os regulamentos da ATSM e ANP.
		Em andamento	Atende alguns regulamentos definidos pela ATSM e ANP.
		Possui	Atende todos os regulamentos da ATSM e ANP.
	RenovaBio	Baixo	Não atende os valores do programa.
		Médio	Possui aproximação com alguns valores do programa.
		Alto	Apresenta maior aproximação com os valores do programa.
	Princípios RSB	Poucos	Menos de 4 princípios atendidos.
		Alguns	Em torno 6 princípios atendidos.
		Muitos	Mais de 9 princípios atendidos.
Saída	Competitividade	Baixa	O biocombustível apresenta menos 20% de competitividade.
		Média	O biocombustível apresenta $50\% \leq x \leq 60\%$ de competitividade.
		Alta	O biocombustível apresenta mais 60% de competitividade.

Fonte: Autor (2020).

Quadro 10 – Domínios de intervalo

	Variáveis	Caracterização linguística	Domínios de intervalo
Entrada	Matéria-prima	Pouca	0 - 0 - 40
		Média	10 - 50 - 90
		Alta	60 -100 - 100
	Disponibilidade	Baixo	0 - 0 - 40
		Médio	10 - 50 - 90
		Alto	60 -100 - 100
	Custos	Baixo	0 - 0 - 40
		Médio	10 - 50 - 90
		Alto	60 -100 - 100
	Emprego e crescimento regional	Baixo	0 - 0 - 40
		Médio	10 - 50 - 90
		Alto	60 -100 - 100
	Homologação e utilização	Não possui	0 - 0 - 40
		Em andamento	10 - 50 - 90
		Possui	60 -100 - 100
	RenovaBio	Baixo	0 - 0 - 40
		Médio	10 - 50 - 90
		Alto	60 -100 - 100
Princípios RSB	Poucos	0 - 0 - 40	
	Alguns	10 - 50 - 90	
	Muitos	60 -100 - 100	
Saída	Competitividade	Baixa	0 - 0 - 40
		Média	10 - 50 - 90
		Alta	60 -100 - 100

Fonte: Autor (2020).

Nos Quadro 9 e 10 estão demonstrados a definição das variáveis e seus domínios de intervalo. No Quadro 11 serão apresentados os eventos de casos possíveis, ou seja, as regras do sistema seguindo uma lógica de controle formulada com o suporte do especialista. As funções de pertinência e as combinações possíveis entre os níveis de fuzzificação demonstram as diversas situações que podem afetar o nível de competitividade.

Quadro 11 – Eventos possíveis

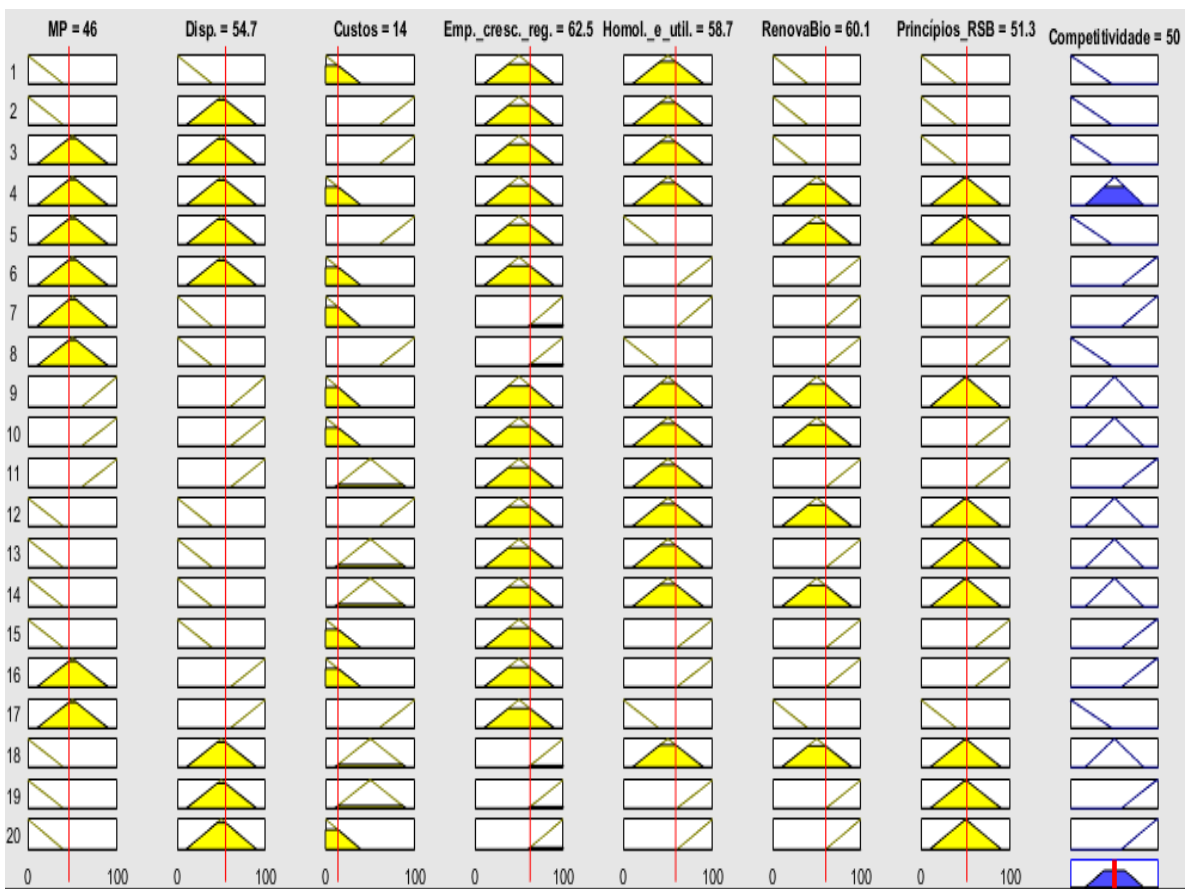
Evento		Condição										Resultado					
Caso	Se	Matéria-prima	e	Disponibilidade	e	Custos	e	Emp. e cresc. Reg.	e	Homol. e util.	e	RenovaBio	e	Princípios RSB	então	Competitividade	
1	Se	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[0 0 40]	então	[0 0 40]	Baixa
2	Se	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[0 0 40]	então	[0 0 40]	Baixa
3	Se	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[0 0 40]	então	[0 0 40]	Baixa
4	Se	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	então	[10 50 90]	Média
5	Se	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	então	[0 0 40]	Baixa
6	Se	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	então	[60 100 100]	Alta
7	Se	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[0 0 40]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	então	[60 100 100]	Alta
8	Se	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	então	[0 0 40]	Baixa
9	Se	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	então	[10 50 90]	Média
10	Se	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	então	[10 50 90]	Média
11	Se	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	então	[60 100 100]	Alta
12	Se	[0 0 40]	e	[0 0 40]	e	[60 100 100]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	então	[10 50 90]	Média
13	Se	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[10 50 90]	então	[10 50 90]	Média
14	Se	[0 0 40]	e	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	então	[10 50 90]	Média
15	Se	[0 0 40]	e	[0 0 40]	e	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	então	[60 100 100]	Alta
16	Se	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[0 0 40]	então	[60 100 100]	Alta
17	Se	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[0 0 40]	e	[0 0 40]	então	[0 0 40]	Baixa
18	Se	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	então	[10 50 90]	Média
19	Se	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[10 50 90]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[10 50 90]	então	[60 100 100]	Alta
20	Se	[0 0 40]	e	[10 50 90]	e	[0 0 40]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[60 100 100]	e	[10 50 90]	então	[60 100 100]	Alta

Fonte: Autor (2020).

O desenvolvimento dos eventos possíveis utilizado para a modelagem do sistema é conforme a lógica *Fuzzy*. As regras ilustradas no Quadro 11 foram elaboradas com o auxílio do software MATLAB®. A combinação de cada regra e o resultado numérico é defuzzificada e o sistema indicará o nível de competitividade. Por meio da simulação das diversas situações entre as variáveis de entrada respeitando as regras, é possível encontrar uma resposta na variável de saída.

Assim, foram simulados pelo software os vinte eventos possíveis que representam as diversas situações entre as variáveis de entrada (os sete critérios) e os resultados encontrados na variável de saída (competitividade). Salienta-se que essas regras foram criadas por meio do contato com os gestores do laboratório que patenteou o composto. Assim, foi designado um responsável, considerado pelo laboratório, com maior conhecimento para formular os eventos base. Na Figura 27 estão as vinte bases de regras.

Figura 27 – Base de regras



Fonte: Autor (2020).

A Figura acima demonstra a estimativa de estado da competitividade em função das sete variáveis de entrada. Por meio das vinte bases de regras acima e com inferência no controlador *Mamdani* é possível encontrar o ponto de equilíbrio das variáveis de entrada para que se mantenha um mínimo de competitividade do biocombustível di-amil éter. Com um ajuste fino das variáveis e respeitando os eventos possíveis é possível encontrar o melhor nível de competitividade.

Salienta-se que este estudo utilizou a lógica *Fuzzy* para modelar o sistema pois Conforme McNeil e Thro (2014), existem algumas características de sistemas que são benéficas aplicar a lógica *Fuzzy*. Por exemplo, sistemas de apoio a tomada de decisão; sistemas que se utilizam da abordagem de especialistas (humanos com domínio do problema ou mesmo outras fontes de conhecimento) e sistemas com muitas variáveis difíceis de modelar (CASTILLO et al., 2008; HENDERSON, 2009). Essas são as principais características de domínio deste estudo. Assim, o sistema *Fuzzy* foi uma escolha adequada para modelar o problema e avaliá-lo.

Nos próximos tópicos são demonstrados: a interpretação das informações da Lógica *Fuzzy*, discussão dos resultados e perspectivas futuras para o setor de energia alternativa.

#### 4.4 IMPLEMENTAÇÃO E AÇÕES PROPOSTAS

Para análise da competitividade do biocombustível di-amil éter (DAE) foi utilizado o método AHP e a lógica *Fuzzy*. O método AHP com o auxílio dos especialistas, priorizou de quinze critérios os sete com maior grau de importância, respectivamente: Matéria-prima; Disponibilidade; Custos; Emprego e crescimento regional; Homologação e utilização; RenovaBio; e Princípios RSB. Os sete critérios priorizados foram inseridos como variáveis de entrada na lógica *Fuzzy* e a variável de saída era a competitividade. Por meio do auxílio de especialista foram criadas vinte bases de regras, após o controlador *Mamdani* simulou os eventos possíveis e apresentou o nível de competitividade do biocombustível.

O melhor nível de competitividade do biocombustível encontrado pelo sistema foi 50 (médio). Na análise de sensibilidade das sete variáveis de entrada foi possível descobrir os critérios que mais impactam para um melhor ou pior nível de competitividade. Essa análise resultou em três critérios: Custos; Homologação e utilização; e RenovaBio.

O teste de sensibilidade das variáveis foi efetuado no software MATLAB® por intermédio do módulo *Fuzzy Logic Toolbox*, para descobrir possíveis oscilações no nível de competitividade. Assim, quando efetuado o teste foi possível constatar que o critério “Custos”

apresentou a maior sensibilidade para oscilação do nível de competitividade do composto. Ao analisar essa variável isolada, a competitividade pode subir ou cair (10%), o melhor valor encontrado para esse critério foi 14 (baixo). Para melhor entendimento, o melhor intervalo das variáveis que resultaram no melhor nível de competitividade e a definição das variáveis serão demonstrados no Quadro 12.

Quadro 12 – Interpretação dos resultados da lógica *Fuzzy*

Variáveis		Melhor resultado		Interpretação
Entrada	Matéria-prima	Média	46	Matéria-prima para produção média de 15 m <sup>3</sup> de produto final.
	Disponibilidade	Médio	54,6	Produto deve atender em torno de 37 horas de voo/mês.
	Custos	Baixo	14	Custo mensal em combustível para gestor em torno de R\$ 55 mil/aeronave.
	Emprego e crescimento regional	Médio	62,5	Incremento de 5% nos empregos ofertados da cadeia produtiva anual.
	Homologação e utilização	Possui	58,7	Atender todos os regulamentos da ATSM e ANP.
	RenovaBio	Médio	61,1	Aproximação com alguns valores do programa.
	Princípios RSB	Alguns	51,3	Em torno 6 princípios atendidos.
Saída	Competitividade	Média	50	O biocombustível apresenta um nível satisfatório de competitividade.

Fonte: Autor (2020).

O bicomcombustível di-amil éter (DAE) de acordo com os critérios avaliados apresentou nível satisfatório de competitividade. Dos sete critérios avaliados, os critérios: Custos; Homologação e utilização; e RenovaBio são os mais sensíveis para o aumento ou diminuição da competitividade. Assim, para que o biocombustível apresente maior competitividade no mercado, sugere-se que o especialista priorize seus esforços no atendimento desses critérios. Além disso, como observado nos resultados, o programa RenovaBio, diante de sua importância no contexto nacional, possivelmente pode contribuir para o aumento do nível de competitividade do bicomcombustível, em particular por causa de seus objetivos e políticas específicas para biocombustíveis. Salienta-se que os quatro critérios restantes, considerando toda a cadeia produtiva do composto, também são importantes para o incremento da competitividade, mas em um segundo momento.

Quando comparado os resultados encontrados por este estudo com os direcionadores de competitividade da cadeia produtiva de biodiesel em César (2012) é possível afirmar que

os recursos produtivos e os programas e políticas públicas são os direcionadores que mais impactam para a melhor competitividade do biocombustível di-amil éter (DAE). Entretanto, no estudo de César (2012), um direcionador de competitividade mais impactou sobre o segmento da cadeia de biodiesel: os programas e políticas públicas. Essa comparação de resultados é interessante, pois confirma a importância de políticas públicas para o desenvolvimento e expansão da tecnologia no setor de energia limpa.

Assim, pode-se afirmar que para o sucesso do biocombustível di-amil éter no mercado nacional, é necessário a máxima aproximação nos programas de incentivo, como o RenovaBio. Além disso, considerando os critérios que os especialistas definiram para esse estudo, pode-se afirmar que o biocombustível estudado é competitivo e atende os critérios necessários para ser um biocombustível de aviação. Entretanto, diante da complexidade do setor de energia, um biocombustível pode apresentar competitividade e não necessariamente ser o biocombustível oficial na matriz energética brasileira. Isso ocorre em sua maioria, pois também há outras pesquisas que desenvolvem biocombustível para o mesmo fim, mas com outras matérias-primas. Então, é possível, o biocombustível oficial para a aviação sendo incorporado na matriz energética nacional, constituirá aquele que mais se aproximar das exigências e interesses do programa nacional de biocombustível – RenovaBio.

No próximo tópico, serão discutidos os resultados em outras perspectivas e também é analisado a realidade dos biocombustíveis de aviação no contexto nacional.

#### 4.5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Analisando os resultados encontrados com a realidade que o setor de combustíveis de aviação se encontra hoje, alguns comentários merecem destaque. Atender o crescimento da demanda por transporte aéreo e concomitante minimizar os impactos da emissão de gases de efeito estufa em um curto e médio prazo, apenas é possível por meio da produção e utilização de biocombustíveis (CORTEZ et al., 2013; EPE, 2005a; GAZZONI, 2014; LEITE, 2007; MELO, 2018; SIGNOR et al., 2014).

Os resultados encontrados no estudo corroboram com realidade do setor de biocombustíveis de aviação no Brasil. Para a saudável expansão do setor, é necessário solucionar duas principais barreiras: diminuição do elevado custo de produção dos biocombustíveis de aviação quando comparados ao querosene de aviação, concomitante, a implementação efetiva de políticas que determinaram a utilização dos biocombustíveis para o transporte aéreo. Após aplicação dos métodos do estudo, já foi possível constatar que o

composto di-amil éter (DAE) é competitivo e tem potencial para ser utilizado como combustível de aviação.

No próximo tópico, serão discutidas mais afundo as seguintes análises: características físico-químicas, custos de produção e medidas políticas. Essas características foram consideradas importantes pelos especialistas e também pelo autor.

#### 4.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

A composição do DAE apresentou 98% de pureza. Além disso, quando combinado com QAV-1 em formulações de (10DAE, 20DAE e 30DAE) o composto apresentou diminuição do ponto de congelamento e aumento da taxa de reação de oxidação (CATALUÑA et al., 2018). Isso já é um bom indicativo para utilização como combustível de aviação. Nas Tabelas 6 e 7 estão alguns resultados encontrados nos ensaios em laboratório.

Tabela 6 – Resultados físico químico QAV-1 e DAE

<b>Parâmetro</b>	<b>DAE</b>	<b>QAV-1</b>	<b>Unidade</b>
Ponto de fusão	-120	-115	° C
Ponto de ebulição inicial	142,3	163,1	° C
Ponto de inflamação	52	58	° C
Ponto de congelamento	-92	-47	° C

Fonte: adaptado de Cataluña et al. (2018).

Na Tabela 6, quando comparado o di-amil éter (DAE) com o tradicional querosene de aviação (QAV-1) observa-se que ponto de fusão, ebulição, inflamação e congelamento são mais vantajosos para o DAE. Isso já se considera um diferencial competitivo pois permite maior segurança na operação em voo. Por exemplo, o QAV-1 congela muito antes que o DAE, tornando-se inoperacional a temperaturas superiores a -47 ° C. O mesmo raciocínio se aplica ao ponto de fusão.

Na Tabela 7, estão os resultados dos ensaios quando o composto DAE foi misturado em frações de 10,20 e 30% ao QAV-1 conforme exigência da ATSM e ANP.



Tabela 7 – Resultados de ensaios em formulações

<b>Parâmetro</b>	<b>10DAE</b>	<b>20DAE</b>	<b>30DAE</b>	<b>Unidade</b>
Ponto de ebulição inicial	133,8	135,1	140,7	° C
Densidade a 20°C	0,823	0,819	0,811	g/cm <sup>-3</sup>
Ponto de congelamento	-57	-62	-68	° C

Fonte: adaptado de Cataluña et al. (2018).

Na Tabela 7 é possível observar que quando combinado em diferentes frações, os valores encontrados para os parâmetros, por exemplo, ebulição e congelamento continuam altos. Além disso, conforme Cataluña et al. (2018) o di-amil éter (DAE) é compatível e atende as especificações técnicas de um biocombustível.

Assim, sugere-se que devido as características físico-químicas apresentadas, o mesmo poderia ser utilizado tanto na aviação doméstica como também em operações militares. Por exemplo, aeronaves militares que voam em altitudes elevadas ou em voos próximos aos polos da terra operam em ambientes muito severos necessitando segurança na operação. Nessas situações, as temperaturas são extremas, porém o biocombustível DAE continuaria operacional garantindo maior segurança quando comparado ao QAV-1. Então, considerando os critérios físico-químicos o composto é bem competitivo e pode atuar em diferentes modos de operação (aviação civil ou militar).

#### 4.7 CUSTOS DE PRODUÇÃO

A competitividade do biocombustível di-amil éter (DAE) também dependerá de seu custo de produção em relação ao querosene fóssil. O custo do combustível é a maior despesa indireta das companhias aéreas, certa de 22% dos custos diretos em média (ANP, 2017; MOTA; FUSCO, 2016).

Os biocombustíveis de aviação, como o di-amil éter, já constituem uma alternativa tecnicamente viável, quando o objetivo é a diminuição de emissão de poluentes. Entretanto, quando são considerados os custos de produção e distribuição, o mesmo perde para os derivados de petróleo tornando-se inviável. Isso em sua maioria acontece pois há processos de produção tanto na cadeia agrícola como na industrial. Assim, considerando a totalidade, o processo de produção do composto é complexo e custoso. Sob a ótica econômica, sua viabilização possivelmente se dará quando ocorrerem novas elevações nos preços internacionais do petróleo, o que se considera possível em um cenário médio a longo prazo

(instabilidades políticas nas zonas produtoras de petróleo, crescimento acelerado do consumo entre outros fatos).

O biocombustível di-amil éter apresenta como insumo sustentável o álcool isoamílico, sendo proveniente da destilação do etanol. A produção de etanol no Brasil é efetuada com base na cana-de-açúcar. Então, observa-se que as cadeias produtivas estão interligadas e que para produzir o composto di-amil éter é necessário uma fração do etanol. Essa necessidade de insumo de outra cadeia produtiva pode impactar em oscilação de custos de produção. O outro insumo, corte de hidrocarbonetos C<sub>5</sub>, que é obtido por meio do craqueamento nafta do petróleo, é originada da própria destilação direta do petróleo em frações mais leves. Esse insumo é possível que seja menos custoso quando comparado ao anterior devido diminuição da cadeia de processos produtivos.

Os biocombustíveis, na totalidade, obtêm sua matéria-prima por meio da biomassa. Por isso, uma possível saída para minimizar os custos de produção seria a implementação de refinarias projetadas para produção contínua. Além disso, novas pesquisas podem liberar o potencial de outros insumos, por exemplo, resíduos sólidos e agrícolas. Então é possível que se barateie o custo de produção pois de modo geral essas matérias-primas são abundantes e custam menos.

#### 4.8 MEDIDAS POLÍTICAS

Por último, o fator mais crucial para o progresso dos biocombustíveis são as medidas políticas no setor. O RenovaBio é um ótimo programa que poderá impulsionar a produção e utilização dos biocombustíveis na aviação e também em outros setores de transportes. Entretanto, sem um cenário político favorável é improvável que os biocombustíveis cresçam no consumo e sejam mais competitivos que os combustíveis fósseis. Subsidiar e apoiar o desenvolvimento do setor também inclui: redução de riscos financeiros para investimentos em projetos de refino; medidas para cumprimento de consumo; entre outros mecanismos que possam diminuir o custo de produção dos biocombustíveis.

As medidas políticas serão importantes para estimular a aviação sustentável. Estados Unidos e países da União Europeia já estabeleceram os mecanismos políticos que irão apoiar nos próximos anos a utilização dos biocombustíveis na aviação. No Brasil, por meio do RenovaBio, também se espera que aconteça o mesmo. Dessa forma, a produção de combustíveis alternativos na aviação poderá ganhar confiança e maior competitividade com o passar dos anos.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo aplicou métodos adaptados para o contexto de análise da competitividade no campo de biocombustíveis. As técnicas apresentadas foram combinadas em uma ferramenta que auxilia os especialistas na interpretação da função com melhor entendimento na tomada de decisão. As metodologias de análise da competitividade em biocombustíveis já bem-sucedidos (etanol e biodiesel), direcionadores de competitividade, partes interessadas e agências certificadoras contribuíram para que fosse possível a criar a própria ferramenta de avaliação. As principais vantagens de utilizar as técnicas e os estudos dos especialistas em bioenergia e biocombustíveis, além de já serem eficientes nos resultados, quando combinados com método multicritério, amplificam o sucesso na tomada de decisão.

A análise bibliométrica possibilitou descobrir na literatura como os métodos utilizados por essa pesquisa eram utilizados pelos autores e também como se comportavam em diferentes situações. As deficiências, dificuldades e caminhos relatados pelos autores possibilitaram adquirir mais conhecimento sobre o tema e também ajustar o estudo. Assim, em uma análise geral da literatura, esse estudo trouxe a aplicação dos métodos de uma forma inovadora e objetiva no campo de biocombustíveis de aviação, pois a análise de competitividade neste contexto ainda é considerada algo novo, possuindo amplo espaço para pesquisas e desenvolvimento em um mercado em constante expansão com necessidade de pesquisa, desenvolvimento e produção de combustíveis alternativos.

Diante dos objetivos desse estudo, pode-se afirmar que os mesmos foram atendidos. Por meio da revisão da literatura foi possível descobrir como está o desenvolvimento das pesquisas em biocombustíveis no Brasil e no mundo. O estudo dessas informações, possibilitou desenvolver, em uma ferramenta de avaliação, os critérios que influenciam na competitividade do biocombustível di-amil éter. Por meio de contatos com especialistas na área foi possível testar a ferramenta de estudo e apresentar os resultados.

O método AHP contribuiu na priorização dos critérios mais críticos no processo de produção do biocombustível di-amil éter (DAE), sendo em grau de importância, respectivamente: Matéria-prima; Disponibilidade; Custos; Emprego e crescimento regional; Homologação e utilização; RenovaBio; e Princípios RSB. A lógica *Fuzzy* demonstrou os níveis mínimos necessários para que a competitividade gerada esteja de acordo com a realidade do mercado de biocombustíveis. Além disso, dos sete critérios avaliados, os critérios: Custos; Homologação e utilização; e RenovaBio são os mais impactantes para o aumento ou diminuição da competitividade.

Estes três critérios (Custos, Homologação e utilização; e RenovaBio) foram os que mais interferiram para um melhor ou pior nível de competitividade do biocombustível di-amil éter. Salienta-se que o critério Custos foi o que apresentou mais sensibilidade para a elevação ou diminuição (10%) da competitividade do composto. Em suma, os métodos aplicados demonstraram que o biocombustível apresenta competitividade satisfatória (50%) e tem potencial para ser utilizado como biocombustível de aviação. Nos próximos parágrafos serão comentados os motivos dessa afirmação.

O biocombustível di-amil éter (DAE) apresentou características físico químicas muito interessantes para um potencial biocombustível de aviação. Nos ensaios em laboratório ao ser misturado com QAV-1 em frações 10DAE, 20DAE e 30DAE o composto apresentou níveis de ponto de fusão, ebulição, inflamação e congelamento mais vantajosos para o DAE quando comparados ao tradicional querosene de aviação, configurando um alto diferencial competitivo no quesito de operação e segurança (robustez do sistema).

A análise de custos de produção, o di-amil éter, já constitui uma alternativa tecnicamente viável, sobretudo quando o objetivo é a diminuição de emissão de poluentes. Entretanto, os custos de produção e distribuição de um biocombustível são mais elevados quando comparado aos derivados de petróleo, tornando-se inviável. A sua viabilização é possível que acontecerá quando ocorrerem novas elevações nos preços internacionais do petróleo, o que se considera possível em um cenário médio a longo prazo (instabilidades políticas nas zonas produtoras de petróleo, crescimento acelerado do consumo entre outros fatos).

A análise das medidas políticas, o RenovaBio é o programa oficial do Brasil para impulsionar a produção e utilização de biocombustíveis. Entretanto, sem um cenário político favorável é improvável que os biocombustíveis expandam sua produção e consumo e sejam mais competitivos que o combustível fóssil, isso inclui o biocombustível estudado. Subsidiar e apoiar o desenvolvimento do setor também inclui: redução de riscos financeiros para investimentos em projetos de refino; medidas para cumprimento de consumo; entre outros mecanismos que possam diminuir o custo de produção dos biocombustíveis.

Comparando os resultados do estudo com a atual realidade do setor é possível concluir alguns fatos. Desde o surgimento dos biocombustíveis até anos atuais, um impressionante progresso já foi alcançado em diversos aspectos: matéria-prima, rotas de conversão, novas tecnologias para diminuição da emissão de carbono, entre outros aspectos. Entretanto, assim como constatado no estudo, para o setor continuar evoluindo é necessário avançar na solução das principais barreiras: diminuição do elevado custo de produção dos biocombustíveis de

aviação quando comparados ao querosene de aviação, concomitante, a implementação efetiva de políticas que determinaram a utilização dos biocombustíveis para o transporte aéreo nacional. Além disso, um cenário político favorável com medidas políticas que apoiem o setor é fundamental para que os biocombustíveis desempenhem seu pleno potencial.

É provável, em um futuro próximo, que os biocombustíveis de aviação cresçam no consumo e os custos diminuam, tornando mais competitivo e autossustentável atingindo uma produção contínua. Dessa forma, o seu papel poderá ser cumprido, ao atender a demanda crescente do transporte aéreo e também reduzir a emissão de gases de efeito estufa. No presente, ainda não é possível afirmar que o biocombustível estudado será o combustível oficial do setor de aviação e seja incorporado na matriz energética brasileira, entretanto o mesmo possui potencial para esse fato.

A escolha do biocombustível di-amil éter (DAE) para a análise da competitividade, se deu em sua maioria pela importância do produto e a possibilidade de inserção na matriz energética nacional como um biocombustível para aviação. Além disso, a crescente expansão de energia limpa e o atendimento de necessidades globais (diminuição de emissão de carbono, Acordo de Paris) motivaram a escolha.

Um fato que merece destaque e que foi constatado ao decorrer da pesquisa, a indústria aérea carece e possui interesse no desenvolvimento de um combustível alternativo que atenda o setor. Essa carência pode ser suprida com a utilização do biocombustível di-amil éter como já foi provado neste estudo. Entretanto, o maior entrave não é exclusivo a produção do biocombustível em si, mas sim as medidas políticas favoráveis e um marco regulatório para a produção e utilização de biocombustíveis na aviação.

Neste estudo foi possível demonstrar o potencial do método AHP e a lógica *Fuzzy* como uma ferramenta de avaliação da competitividade na produção de biocombustíveis. Além disso, o resultado contribuirá cientificamente para ampliar a base de conhecimento possibilitando ser referência em estudos futuros, nas pesquisas de competitividade e desenvolvimento de biocombustíveis. A utilização de forma conjunta e simultânea na avaliação da competitividade de um biocombustível de aviação, utilizando o método AHP e lógica *Fuzzy*, poderá ser utilizada como ponto de partida em trabalhos futuros.

Como limitação deste estudo pode-se citar o potencial dos especialistas em fornecer as informações necessárias para a construção da hierarquia e as prioridades no método AHP e também a formulação das bases de regras na lógica *Fuzzy*. Além disso, pode-se ser questionado se os critérios de competitividade avaliados englobam todo o estudo. Assim, como recomendação em estudos futuros, pode-se formar um grupo de partes interessadas para

apoio ao especialista que irá definir as prioridades no método AHP e a base de regras na lógica *Fuzzy*, isto gera maior confiabilidade no sistema de avaliação. Uma outra recomendação é a aplicação em outros biocombustíveis de aviação utilizando este estudo de forma complementar para análise de resultados.

A relação entre a avaliação do sistema e o auxílio na tomada de decisão proposta pelo estudo foi indispensável para analisar o nível de competitividade do biocombustível di-amil éter (DAE). Desta forma, foi possível contribuir para o desenvolvimento de novas tecnologias, alcançar objetivos e melhorar a competitividade dos biocombustíveis de aviação.

## REFERÊNCIAS

- ABDULVAHİTOĞLU, A. Using Analytic Hierarchy Process for Evaluating Different Biodiesels as an Alternative Fuel. **University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**, v. 33, n. 3, p. 177-189, 2018.
- AHMED, W.; SARKAR, B. Management of next-generation energy using a triple bottom line approach under a supply chain framework. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 150, p. 104431, 2019.
- AHUJA, D.; TATSUTANI, M. Sustainable energy for developing countries. **SAPI EN. S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society**, n. 2.1, 2009.
- ALVES, J. E. D. População, desenvolvimento e sustentabilidade: perspectivas para a CIPD pós-2014. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 31, n. 1, p. 219-230, 2014.
- AMARAL, A. Regulação do RenovaBio. **RENOVABIO: Próximos Passos**. Rio de Janeiro: FGV Energia, 2018.
- AMARAL, W.; ALMEIDA L.; GIULIANI E. Expertise aumenta competitividade em biocombustíveis. **Revista Visão Agrícola**, n. 08, jan./jun. 2008.
- ANP. **Agência Nacional do Petróleo**. 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis>>. Acesso em 15 out. 2018.
- ANP. Agência Nacional do Petróleo. **Panorama do abastecimento de combustíveis: 2017 / Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: ANP, 2017.
- ANTUNES, R.; SILVA, I. C. Utilização de algas para a produção de biocombustíveis. **Cluster do conhecimento Energias Renováveis. Instituto Nacional de Propriedade Industrial**, 2010.
- ARISTIZÁBAL, V.; GÓMEZ Á. Biorefineries based on coffee cut-stems and sugarcane bagasse: Furan-based compounds and alkanes as interesting products. **Bioresource technology**, v. 196, p. 480-489, 2015.
- ASADI, E.; HABIBI, F.; NICKEL, S. et al. A bi-objective stochastic location-inventory-routing model for microalgae-based biofuel supply chain. **Applied energy**, v. 228, p. 2235-2261, 2018.
- ASADI, M.; GUO, H.; MCPHEDRAN, K. Biogas production estimation using data-driven approaches for cold region municipal wastewater anaerobic digestion. **Journal of environmental management**, v. 253, p. 109708, 2020.
- ASSILIAN, S.; MAMDANI, E. H. **A fuzzy logic controller for a dynamic plant**. [S.l.]: Queen Mary College, 1973.
- ATSONIOS, K.; KOUGIOUMTZIS, M. A.; PANOPOULOS, K. D. et al. Alternative thermochemical routes for aviation biofuels via alcohols synthesis: process modeling, techno-economic assessment and comparison. **Applied Energy**, v. 138, p. 346-366, 2015.

BANSE, M.; VAN MEIJL, H.; TABEAU, A., et al. Will eu biofuel policies affect global agricultural markets? **European Review of Agricultural Economics**, Oxford Univ Press, v. 35, n. 2, p. 117–141, 2008.

BARBOSA, F. J. F. **A economia brasileira em 2007**. Disponível em: <[http://www.apimecmg.com.br/artigos/538\\_Microsoft%20Word%20-%20Artigo%201%20-%20ECONOMIA.pdf](http://www.apimecmg.com.br/artigos/538_Microsoft%20Word%20-%20Artigo%201%20-%20ECONOMIA.pdf)> Acesso em: jun. 2018.

BARROS, L. C. **Sobre sistemas dinâmicos fuzzy: Teoria e Aplicações**. 1997. Tese (Doutorado em Matemática Aplicada) – Instituto de Matemática Estatística e Computação Científica (UNICAMP), Campinas, 1997.

BARROS, S. **Brazil biofuels annual. Annual Report 2019**, 2019.

BARTHOLOMEU D. B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. 165 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BATALHA, M. O.; SOUZA FILHO, H. M. Analisando a Competitividade de Cadeias Agroindustriais: uma proposição metodológica. In: BATALHA, M. O.; SOUZA FILHO, H. M. (Org.). **Agronegócio no MERCOSUL: uma agenda para o desenvolvimento**. São Paulo: Atlas, 2009. p. 1-22.

BATISTA, D. de A. **O Uso da Abordagem Fuzzy para a Integração das Ferramentas QFD e SERVQUAL em Serviços de Saúde**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

BAUDRY, G.; MACHARIS, C.; VALLÉE, T. Can microalgae biodiesel contribute to achieve the sustainability objectives in the transport sector in France by 2030? A comparison between first, second and third generation biofuels through a range-based Multi-Actor Multi-Criteria Analysis. **Energy**, v. 155, p. 1032-1046, 2018.

BAUEN, A.; NATTRASS, L. Sustainable Aviation Biofuels: Scenarios for Deployment. In: *Biokerosene*. **Springer**, Berlin, Heidelberg, 2018. p. 703-721.

BELDERRAIN, M. C. N.; SILVA, R. M. Considerações sobre métodos de decisão multicritério. **Encontro de iniciação científica e pós-graduação do ITA (XI ENCITA)**, São José dos Campos, 2005.

BENJAMIN, M. F. D.; TAN, R. R.; RAZON, L. F. Probabilistic multi-disruption risk analysis in bioenergy parks via physical input–output modeling and analytic hierarchy process. **Sustainable Production and Consumption**, v. 1, p. 22-33, 2015.

BILLIG, E.; THRAEN, D. Renewable methane—A technology evaluation by multi-criteria decision making from a European perspective. **Energy**, v. 139, p. 468-484, 2017.

BLUHM, B. B.; PAMPLONA, D. A.; OLIVEIRA, A. V. M. **Previsão de emissões de poluentes: estudo de caso dos voos domésticos do aeroporto de Petrolina**. VIII STRAER, 2015.



- BORBA SEVERO, A. **Análise de viabilidade econômico-financeira de um empreendimento no setor alimentício**. 2017. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.
- BRAGA, H. C.; MOITA, G. F.; DE ALMEIDA, P. E. M. O uso da lógica fuzzy para suporte à tomada de decisões em modelagens de sistemas multiagentes. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, v. 2, n. 9, p. 124-137, 2017.
- BRANCO, L. G. B. Biocombustíveis brasileiros e o mercado internacional: desafios e oportunidades. **Revista CEJ**, p. 39-48, 2009.
- BRANCO, L. G. B. Biocombustíveis: vantagens e desafios. **Revista Eletrônica de Energia**, v. 3, n. 1, 2014.
- BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 dezembro 2017b. Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2018.
- BRIOZO, R. A.; MUSETTI, M. A. Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento–UPA 24 h. **Gestão E Produção**, v. 22, n. 4, p. 805-819, 2015.
- BRONZATTI, F. L.; IAROZINSKI NETO, A. Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28. 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008. p. 13-16.
- CAPPELLARI, G. et al. A competitividade de uma indústria do noroeste gaúcho: uma abordagem clássica. **Humanas Sociais & Aplicadas**, v. 7, n. 18, 2017.
- CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. [S.l.]: Atlas, 2011.
- CASTILLO, O. et al. Type-2 fuzzy logic: theory and applications. In: **2007 IEEE International Conference on Granular Computing (GRC 2007)**. IEEE, 2007. p. 145-145.
- CATALUÑA, R. et al. Production process of di-amyl ether and its use as an additive in the formulation of aviation fuels. **Fuel**, v. 228, p. 226-233, 2018.
- CERQUEIRA, L. S.; FADUL, E.; VITÓRIA, F. Comercialização de produtos e serviços na indústria baiana de software: uma análise das potencialidades e entraves. **Universitas: Gestão e TI**, v. 3, n. 1, 2013.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prendice Hall, 2002.
- CÉSAR, A. da S. **A competitividade da produção de biodiesel no Brasil: uma análise comparativa de mamona, dendê e soja**. 2012. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP. 2012.

- CHAGAS, L. Biocombustíveis. **Projeto Economia de Baixo Carbono: Avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas.** Ribeirão Preto: [s.n.], 2012.
- CHAVES, M. C. de C.; GOMES, C. F. S. Avaliação de biocombustíveis utilizando o apoio multicritério à decisão. **Production**, v. 24, n. 3, p. 495-507, 2014.
- CHEN, L.; REN, J. Multi-attribute sustainability evaluation of alternative aviation fuels based on fuzzy ANP and fuzzy grey relational analysis. **Journal of Air Transport Management**, v. 68, p. 176-186, 2018.
- CHOUINARD, U.; ACHICHE, S.; BARON, L. Integração da avaliação de dependências negativas durante o projeto conceitual de mecatrônica usando lógica fuzzy e teoria quantitativa de grafos. **Mecatrônica**, v. 59, p. 140-153, 2019.
- COBO, M. J. et al. Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 62, n. 7, p. 1382-1402, 2011.
- ÇOLAK, M.; KAYA, İ. Prioritization of renewable energy alternatives by using an integrated fuzzy MCDM model: A real case application for Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 840-853, 2017.
- CORTEZ, L. A. B. (Ed.). **Roadmap for Sustainable Aviation Biofuels for Brazil: A Flightpath to Aviation Biofuels in Brazil.** [S.l.]: Editora Blucher, 2014.
- CORTEZ, L. A. B. et al. **Plano de voo para biocombustíveis de aviação no Brasil: Plano de ação.** Boeing/Embraer/FAPESP e UNICAMP, 2013.
- COSTA, A. O. da. **A inserção do biodiesel na matriz energética nacional: aspectos socioeconômicos, ambientais e institucionais.** 2017. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- COSTA, H. G. **Introdução ao Método de Análise Hierárquica – LATEC/UFF.** 1 ed. Niterói: [s.n.], 2006.
- COSTA, J. L. **Modelagem e controle fuzzy.** Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional) – Universidade Federal do ABC, Santo André, 2017.
- COUTINHO, L.; FERRAZ, J. C. (Coord.). **Estudo da competitividade da indústria brasileira.** 4. ed. Campinas: Papyrus Editora, 2002.
- DA SILVA, C. A.; DE SOUZA FILHO, H. M. **Guidelines for rapid appraisals of agrifood chain performance in developing countries.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007.
- DATTA, A.; HOSSAIN, A.; ROY, S. An overview on biofuels and their advantages and disadvantages. **Asian Journal of Chemistry**, v. 31, n. 8, p. 1851-1858, 2019.
- DE AZEVEDO, A. N. G.; DE AZEVEDO LIMA, B. G. Biocombustíveis: influência no desenvolvimento e inserção internacional. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 6, n. 1, 2016.

DE CARVALHO, R. G.; KRUK, N. S.; BELDERRAIN, M. C. N. Aplicação do método de análise hierárquica para seleção de sistemas de separação água/óleo em aeroportos para diferentes cenários. **Blucher Marine Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 64-75, 2016.

DE JONG, S. A. et al. Renewable Jet Fuel in the European Union: Scenarios and Preconditions for Renewable Jet Fuel Deployment towards 2030. Copernicus Institute, Department IMEW, **Energy & Resources**, 2017.

DE OLIVEIRA, K. C.; ZANIN, V. A Bioeconomia e os Biocombustíveis no cenário Brasileiro. **Revista iPecege**, v. 1, n. 2, p. 23-43, 2015.

DE SOUZA, L. M.; MENDES, P.; ARANDA, D. Assessing the current scenario of the Brazilian biojet market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 98, p. 426-438, 2018.

DELGADO, F.; SOUSA, M. E.; ROITMAN, T. **Biocombustíveis**. 2017.

DEMIREL, T.; DEMIREL, N. Ç.; KAHRAMAN, C. Fuzzy analytic hierarchy process and its application. In: Fuzzy multi-criteria decision making. **Springer**, Boston, MA, 2008. p. 53-83.

DENA D. R.; DENA K. C.; DENA S. L. **Global alliance powerfuels powerfuels in aviation**. Sept. 2019.

DORNELES, D. V. R. **Análise da competitividade em empresas de desenvolvimento de software instaladas no TECNOPUC no Rio Grande do Sul**. 2011. Dissertação (Mestrado em administração de empresas) – Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional – 2017**. 2018a. Disponível em: < <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018> >. Acesso em: maio 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Fluxograma de funcionamento do RenovaBio**. 2018a. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-155/topico-165/Fluxograma%20de%20funcionamento%20RenovaBio.pdf>>. Acesso em 12 dez. 2018.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Potencial de redução de emissões de CO2 em projetos de produção e uso de biocombustíveis**. 2005a. Relatório do Governo Federal- Ministério de Minas e Energia (MME/SPE), Convênio, n. 039, p. 66, 2005.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **RenovaBio – Documentos Produzidos pela EPE**. Rio de Janeiro: EPE, 2017a. Disponível em: <[www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)>. Acesso em: 15 dez. 2018.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **RenovaBio: Biocombustíveis 2030**. 2016b. Nota Técnica, 2018.

FALCONE, D.; FELICE, F.; SAATY, T. L. **II decision marketing ei sistemi decisionali multicriterio. Le metodologie AHP e ANP**. [S.l.]: Hoepli editore, 2009.

FERRÉS, D. H. S. **Competitividade dos biocombustíveis no Brasil**: uma comparação entre os principais biocombustíveis etanol e biodiesel. 2010. Tese (Mestrado em Agroenergia) – Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2010.

FIORESE, D. A. et al. Metodologia experimental para avaliação de custos de produção e utilização de biodiesel: estudo de caso de quatro ésteres metílicos e óleo diesel comercial. **Ciência Rural**, v. 41, n. 11, p. 1921-1926, 2011.

FISCHER, C.; SCHORNBERG, S. Assessing the competitiveness situation of E.U. food and drink manufacturing industries: an index-based approach. *Competitiveness in Agriculture and in the Food Industry: U S and EU perspectives*. **Agribusiness: An International Journal**. v. 24, n. 4, p. 473-496. 2007.

FRANÇA VARGAS, C. A.; RECH, I.; APARECIDO DOS SANTOS, S. Fatores de competitividade empresarial em empresas instaladas em um parque tecnológico brasileiro. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 16, n. 2, 2016.

FREIRE, A. P. **Blendas de bioquerosene e querosene de aviação**: caracterização térmica e espectrométrica. 2014.

FREITAG, T. E. et al. **Análise da competitividade do gás natural como combustível para veículos leves de passageiros no Brasil**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2019.

FREITAS, G. **Biomassa, uma fonte de energia**. Projeto de graduação (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

GARBIN, R. B.; HENKES, J. A. A sustentabilidade na produção de biocombustíveis de aviação no Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 67-104, 2018.

GAZZONI, D. L. Balanço de emissões de CO<sub>2</sub> por biocombustíveis no Brasil: histórico e perspectivas. **Embrapa Soja-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2014.

GAZZONI, D. L. Mercado de biocombustíveis: uma análise. **Biodieselbr**, v. 2, p. 10-25, 2009.

GIELEN, D. et al. The role of renewable energy in the global energy transformation. **Energy Strategy Reviews**, v. 24, p. 38-50, 2019.

GOLÇALVES, C. A.; MEIRELLES, A. M. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2004.

GOLDEMBERG, J. Atualidade e perspectivas no uso de biomassa para geração de energia. **Revista Brasileira de química**, v. 9, n. 1, p. 15-28, 2017.

GOMIERO, T. Are biofuels an effective and viable energy strategy for industrialized societies? A reasoned overview of potentials and limits. **Sustainability**, v. 7, n. 7, p. 8491-8521, 2015.

- GÖSSLING, S. et al. Can we fly less? Evaluating the ‘necessity’ of air travel. **Journal of Air Transport Management**, v. 81, p. 101722, 2019.
- HARI, T. K.; YAAKOB, Z.; BINITHA, N. N. Aviation biofuel from renewable resources: routes, opportunities and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 1234-1244, 2015.
- HENDERSON, H. **Encyclopedia of computer science and technology**. Infobase Publishing, 2009.
- HENKES, J. A.; DE PÁDUA, A. D. B. Desenvolvimento sustentável na aviação brasileira: histórico, principais avanços e desafios. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 534-552, 2017.
- HEO, S.; CHOI, J. W. Potential and Environmental Impacts of Liquid Biofuel from Agricultural Residues in Thailand. **Sustainability**, v. 11, n. 5, p. 1502, 2019.
- HERTEL, T. W.; BALDOS, U. L. C. Biofuels as a driver of long run land use change. In: **Global Change and the Challenges of Sustainably Feeding a Growing Planet**. [S.l.]: Springer, 2016. p. 99-114.
- HERTEL, T. W.; TYNER, W. E.; BIRUR, D. K. The global impacts of biofuel mandates. **The Energy Journal**, JSTOR, p. 75-100, 2010.
- HOA, N. T. et al. A model for multi-criterion disaster vulnerability assessment of economic systems: implications for Vietnam’s bioethanol policy. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 18, n. 6, p. 1917-1929, 2016.
- HUANG, J. et al. Biofuels and the poor: Global impact pathways of biofuels on agricultural markets. **Food Policy**, Elsevier, v. 37, n. 4, p. 439-451, 2012.
- IATA. International Air Transport Association. **Annual Review 2017**. 2017. Disponível em: <<https://www.iata.org/publications/Documents/iata-annual-review-2017.pdf>>. Acesso em: ago. 2019.
- ICAO. International Civil Aviation Organization. **ICAO Environmental Report 2016**. 2016. Disponível em: <<https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/env2016.aspx>>. Acesso em: 15 out. 2018.
- INAYAT, A. et al. Fuzzy modeling and parameters optimization for the enhancement of biodiesel production from waste frying oil over montmorillonite clay K-30. **Science of the Total Environment**, v. 666, p. 821-827, 2019.
- IORIS, A. A. R. Segurança alimentar e segurança energética: algumas questões de ecologia política. **Cadernos do desenvolvimento**, v. 6, n. 8, p. 355-374, 2018.
- IRENA. The International Renewable Energy Agency. **Biofuels for Aviation: Technology Brief**. 2017. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2017/Feb/Biofuels-for-aviation-Technology-brief>>. Acesso em: 10 maio 2019.

- ISABELLA, G. et al. Another driver of the Brazilian fuel ethanol supply chain: the consumers' preferences. **Revista de Administração**, v. 52, n. 3, p. 304-316, 2017.
- ITAMARATY. **Mudança do Clima**. 2016. Disponível em: <<http://www.itamaraty.gov.br/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/712-mudanca-no-clima?lang=pt-BR>>. Acesso em: 20 out. 2018.
- KAMBOJ, V.; KAUR, A. Comparison of constant SUGENO-type and MAMDANI-type fuzzy inference system for load sensor. **International Journal of Soft Computing and Engineering**, v. 3, n. 2, p. 204-207, 2013.
- KAYA, İ.; COLAK, M.; TERZI, F. A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making. **Energy Strategy Reviews**, v. 24, p. 207-228, 2019.
- KUMAR, D.; GARG, C. P. Evaluating sustainable supply chain indicators using fuzzy AHP: Case of Indian automotive industry. **Benchmarking: An International Journal**, v. 24, n. 6, p. 1742-1766, 2017.
- LAKATOS; E. M.; DE ANDRADE M. **Metodologia científica**. 6. ed. [S.l.]: Atlas, 2011.
- LARSSON, J. et al. International and national climate policies for aviation: a review. **Climate Policy**, v. 19, n. 6, p. 787-799, 2019.
- LEAVITT, E. et al. Moving toward sustainable aviation fuel at Seattle-Tacoma International Airport. **Journal of Airport Management**, v. 12, n. 4, p. 391-398, 2018.
- LEE, A. H. I.; CHEN, W.-C.; CHANG, C.-J. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. **Expert Systems with Applications**, v. 34, n. 1, p. 96-107, 2008.
- LEE, S. K.; MOGI, G.; KIM, J. W., et al. A fuzzy analytic hierarchy process approach for assessing national competitiveness in the hydrogen technology sector. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, n. 23, p. 6840-6848, 2008.
- LEITE, R. C. de C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos estudos CEBRAP**, n. 78, p. 15-21, 2007.
- LIMA, D. O.; SOGABE, V. P.; CALARGE, T. C. C. Uma Análise sobre o Mercado Mundial do Biodiesel. **Caderno Profissional de Marketing-UNIMEP**, v. 2, n. 2, p. 44-59, 2014.
- MACEDO, I. de C.; NOGUEIRA, L. A. H. Biocombustíveis. **Parcerias Estratégicas**, v. 9, n. 19, p. 255-288, 2010.
- MAGALHÃES, A. S. **Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa**. 2013. 293 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de ciências econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International journal of man-machine studies**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 1975.

MARDANI, A.; ZAVADSKAS, E. K.; KHALIFAH, Z., et al. Multiple criteria decision-making techniques in transportation systems: a systematic review of the state of the art literature. **Transport**, v. 31, n. 3, p. 359-385, 2016.

MARINS, C. S. **Uma abordagem multicritério para avaliação e classificação da qualidade do transporte público por ônibus segundo a percepção dos usuários**. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 2007.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, Magno da Silva. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41., 2009, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, BA: SOBRAPO, 2009.

MARIOTTO, F. L. O conceito de competitividade da empresa: uma análise crítica. **Revista de administração de Empresas**, v. 31, n. 2, p. 37-52, 1991.

MASIERO, G. Developments of biofuels in Brazil and East Asia: experiences and challenges. **Revista Brasileira de Política Internacional**, v. 54, n. 2, p. 97-117, 2011.

MASIERO, G.; LOPES, H. Etanol e biodiesel como recursos energéticos alternativos: perspectivas da América Latina e da Ásia. **Revista Brasileira de Política Internacional**, v. 51, n. 2, p. 60-79, 2008.

MCNEILL, F. M.; THRO, E. **Fuzzy logic: a practical approach**. [S.l.]:Academic Press, 2014.

MELO, M. C. de R. **Políticas públicas brasileiras de biocombustíveis: estudo comparativo entre os programas de incentivos à produção, com ênfase em etanol e biodiesel**. 2018. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2018.

MENDES, L. F. B. **Produção de biodiesel, situação atual e perspectivas futuras**. 2015. Tese (Doutorado em Energia e Bioenergia) – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2012.

MILANEZ, A.; MANCUSO, R.; GODINHO, R.; POPPE, M. O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da Plataforma para o Biofuturo. **Biocombustíveis – BNDES Setorial**, p. 285-340, 2017.

MOHSENI, S.; PISHVAEE, M. S.; SAHEBI, H. Robust design and planning of microalgae biomass-to-biodiesel supply chain: A case study in Iran. **Energy**, v. 111, p. 736-755, 2016.

MONCAO, F. S. et al. Microalgae and Biofuels: Integration of Productive Chains. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 4, p. 999-1017, 2018.

MOTA, J.; FUSCO, T. **Latam sustainability report 2016**. 2016. Disponível em: <<https://www.latam.com/content/dam/LATAM/latam-marca-unica/footer/sostenibilidad/LATAM-Sustainability-report-2016-EN.pdf>>. Acesso em: jun. 2019.

MOVE, D. G. State of the art on alternative fuels transport systems in the European Union. **Final Report. Expert Group on Future Transport Fuels**. European Commission, Brussels, 2015.

NASSEF, A. M. et al. Application of fuzzy modelling and Particle Swarm Optimization to enhance lipid extraction from microalgae. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 35, p. 73-79, 2019.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Sustainable development of algal biofuels in the United States. **National Academies Press**, 2013.

OBLAK, L.; KITEK-KUZMAN, M.; GROŠELJ, P. A fuzzy logic-based model for analysis and evaluation of services in a Manufacturing company. **Journal of Applied Engineering Science**, v. 15, n. 3, p. 258-271, 2017.

OKWU, M. O.; NWACHUKWU, A. N. A review of fuzzy logic applications in petroleum exploration, production and distribution operations. **Journal of Petroleum Exploration and Production Technology**, v. 9, n. 2, p. 1555-1568, 2019.

OLHOFF, A.; CHRISTENSEN, J. M. **Emissions Gap Report 2018**. 2018.

OLIVEIRA, F. C. **Lógica Fuzzy: uma ferramenta para auxílio à tomada de decisão com relação a fatores que interferem no rendimento escolar**. 2014. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Universidade Federal do Rondônia, Porto Velho, 2014.

OWUSU, P. A.; ASUMADU-SARKODIE, S. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. **Cogent Engineering**, v. 3, n. 1, p. 1167990, 2016.

PAUL, S.; SARKAR, B. An exploratory analysis of biofuel under the utopian environment. **Fuel**, v. 262, p. 116508, 2020.

PEIDRO, D.; VASANT, P. Transportation planning with modified S-curve membership functions using an interactive fuzzy multi-objective approach. **Applied Soft Computing**, v. 11, n. 2, p. 2656-2663, 2011.

PERISSINOTTO, M. et al. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1492-1498, 2009.

PILAVACHI, P. A.; CHATZIPANAGI, A. I.; SPYROPOULOU, A. I. Evaluation of hydrogen production methods using the analytic hierarchy process. **International Journal of hydrogen energy**, v. 34, n. 13, p. 5294-5303, 2009.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. **Microeconomia**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. 672p.

POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning – a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 8, n. 4, p. 365-381, 2004.



POSSAMAI, A.; VILAS BOAS, A. A.; CONCEIÇÃO, R. D. P. da. Fatores determinantes da competitividade: uma análise do pólo moveleiro de Bento Gonçalves. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO, 11., 2004, Bauru. **Anais...** Bauru, SP: UNESP, 2004.

RAMAN, S. et al. Integrating social and value dimensions into sustainability assessment of lignocellulosic biofuels. **Biomass and bioenergy**, v. 82, p. 49-62, 2015.

RAVI, V. et al. Impacts of prescribed fires and benefits from their reduction for air quality, health, and visibility in the Pacific Northwest of the United States. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 69, n. 3, p. 289-304, 2019.

RÉUS, L. F.; YAMAGUCHI, C. K.; LOPES, J. B. Inovação como estratégia competitiva na indústria cerâmica: uma revisão bibliográfica. In: CONGRESSO SUL CATARINENSE DE ADMINISTRAÇÃO E COMÉRCIO EXTERIOR, 1., 2017, Criciúma, SC. **Anais...** Criciúma, SC: UNESC, 2017.

RIBEIRO, C. B.; SCHIRMER, W. N. Panorama dos combustíveis e biocombustíveis no Brasil e as emissões gasosas decorrentes do uso da gasolina/etanol. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2, n. 2, p. 16-22, 2017.

ROCHA S. P. V. **Modelo de avaliação de viabilidade econômico-Financeira de usinas de pequeno e médio porte de produção de biodiesel**. Monografia (Especialização em Engenharia) – Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

ROCHA, R. S. **Uma análise do acordo de Paris: a convenção-quadro e a nova fase do regime multilateral de mudança do clima**. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ROSA, C. R. M.; STEINER, M. T. A.; COLMENERO, J. C. Utilização de processo de análise hierárquica para definição estrutural e operacional de centros de distribuição: uma aplicação a uma empresa do ramo alimentício. **Gestão e Produção**, v. 22, n. 4, p. 935-950, 2015.

ROSA, P. M. **A competitividade das indústrias do sul de Santa Catarina: os fatores setoriais e sistêmicos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

RSB. **RSB Principles & Criteria for the Sustainable Production of Biomass, Biofuels and Biomaterials**. 2016. Disponível em: <<https://rsb.org/certification/>>. Acesso em: dez. 2018.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAATY, T. L. Extending the Measurement of Tangibles to Intangibles. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 8, n. 1, p. 7-27, 2009.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: Makron Books, 1991. p. 367.

- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks**. 2. ed. [S.l.]: **Springer**, 2013. 363 p.
- SAMPAIO, A. L.; DELGADO F.; PEREIRA G. A. et al. Biocombustíveis. **FGV Energia**, Caderno n. 8, ano 4, ago. 2017. Disponível em: <<http://www.fgv.br/fgvenergia/caderno-biocombustivel/files/assets/common/downloads/CADERNO%20BIOCOMBUSTIVEL.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2019.
- SANTOS, G. Q. dos. Lógica Fuzzy: uma proposta de aplicação na gestão de estoques. **Blucher Marine Engineering Proceedings**, v. 1, p. 816-827, 2014.
- SANTOS, I. T. **Adaptação regulatória na indústria de biocombustíveis**. 2012. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- SAUER, I. **Biofuels in Brazil: Sales and Logistics**. Biofuels in Brazil: Realities and Prospects, 2008.
- SCARLAT, N. et al. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. **Environmental Development**, v. 15, p. 3-34, 2015.
- SCHILLO, R. S.; ISABELLE, D. A.; SHAKIBA, A. Linking advanced biofuels policies with stakeholder interests: A method building on Quality Function Deployment. **Energy Policy**, v. 100, p. 126-137, 2017.
- SCHIRMER, W. N.; GAUER, M. A. Os biocombustíveis no Brasil: panorama atual, emissões gasosas e os métodos analíticos de monitoramento da qualidade do ar referente a gases de natureza orgânica Biofuels in Brazil: the current scene, gaseous emissions and analytical methods on air. **Ambiência**, v. 8, n. 1, p. 139-157, 2012.
- SCOTT, J. A.; HO, W.; DEY, P. K. A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems. **Energy**, v. 42, n. 1, p. 146-156, 2012.
- SCOTT, J. A.; HO, W.; DEY, P. K. Strategic sourcing in the UK bioenergy industry. **International journal of production economics**, v. 146, n. 2, p. 478-490, 2013.
- SEARLE, S. et al. Long-Term Aviation Fuel Decarbonization: Progress, Roadblocks, and Policy Opportunities. **Briefing**, 2019.
- SECRETARIA PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (SPG) / MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim Mensal de Biocombustíveis 2016**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/publicacoes/boletim-mensal-de-combustiveis-renovaveis/2016>>. Acesso em: 20 out. 2018.
- SELLITTO, M. A. **Medição e controle de desempenho estratégico em sistemas de manufatura**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- SIGNOR, D.; PISSIONI, L. L. M.; CERRI, C. E. P. Emissões de gases de efeito estufa pela deposição de palha de cana-de-açúcar sobre o solo. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 113-122, 2014.

SILVA, C. A. B. da; BATALHA, M. O. Competitividade em sistemas agroindustriais: metodologia e estudo de caso. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DE SISTEMAS AGROALIMENTARES, 2., 1999, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: USP, 1999. p. 9-20.

SILVA, D. A. L. et al. Análise de viabilidade econômica de três sistemas produtivos de carvão vegetal por diferentes métodos. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, 2014.

SILVA, D. A. L.; SILVA, E. J. DA; OMETTO, A. R. Green manufacturing: uma análise da produção científica e de tendências para o futuro. **Production**, v. 26, n. 3, p. 642-655, 2016.

SILVA, M. R. **Mandatos de biocombustíveis e crescimento da demanda mundial de etanol**: efeitos sobre a economia brasileira. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

SILVA, M. S. et al. Competitividade da cadeia produtiva do biodiesel no estado da Bahia: uma análise dos fatores ambientais na agricultura familiar. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, p. 364-377, 2015.

SILVA, Z. M. da. **As políticas e programas nacionais de fomento à produção de biocombustíveis em face ao estado constitucional em crise**. 2017. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SIMOES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo: Blucher: FAPESP, 2007.

SINGH, H. et al. Real-life applications of fuzzy logic. **Advances in Fuzzy Systems**, v. 2013, 2013.

TAN, J. et al. A hybrid life cycle optimization model for different microalgae cultivation systems. **Energy Procedia**, v. 61, p. 299-302, 2014.

TAN, J. et al. Study of microalgae cultivation systems based on integrated analytic hierarchy process–life cycle optimization. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 19, n. 8, p. 2075-2088, 2017.

TEIXEIRA, C. et al. CNT (Confederação Nacional dos Transportes). **Certificação de aeronaves deverá priorizar menos emissões de CO<sub>2</sub>, 2016**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/novo-padrao-de-certificacao-de-aeronaves-devera-reduzir-emissao-de-co2-cnt>>. Acesso em: out. 2018.

TROSTER, L. R. Estruturas de mercado. In: GREMAUD, A. P. et al. **Manual de economia**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

TSITA, K. G.; PILAVACHI, P. A. Evaluation of alternative fuels for the Greek road transport sector using the analytic hierarchy process. **Energy Policy**, v. 48, p. 677-686, 2012.

TSITA, K. G.; PILAVACHI, P. A. Evaluation of next generation biomass derived fuels for the transport sector. **Energy policy**, v. 62, p. 443-455, 2013.

- UBANDO, A. T. et al. Application of stochastic analytic hierarchy process for evaluating algal cultivation systems for sustainable biofuel production. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 18, n. 5, p. 1281-1294, 2016.
- UBANDO, A. T. et al. Multi-criterion evaluation of cultivation systems for sustainable algal biofuel production using analytic hierarchy process and Monte Carlo simulation. **Energy Procedia**, v. 61, p. 389-392, 2014.
- VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic Hierarchy Process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, n. 169, p. 1-29, 2006.
- VELASQUEZ, M.; HESTER, P. T. An analysis of multi-criteria decision-making methods. **International Journal of Operations Research**, v. 10, n. 2, p. 56-66, 2013.
- VELTZ, P.; ZARIFIAN, P. Travail collectif et modèles d'organisation de la production/ (Collective Work and Models of Organisation). **Le travail humain**, v. 57, n. 3, p. 239, 1994.
- VENTURI, V. **DAE (di-amil-éter): um novo bio-éter combustível**. 2010. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- VILT, J. F. **O atual cenário dos combustíveis alternativos na aviação mundial**. 2017. Monografia (Bacharelado em Ciências Aeronáuticas) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, SC, 2017.
- VITAL, M. H. F. **Aquecimento global: acordos internacionais, emissões de CO2 e o surgimento dos mercados de carbono no mundo**. [S.l.]: BNDES, set. 2018.
- WALLIMAN, N. **Métodos de Pesquisas**. São Paulo: Saraiva, 2015.
- WALTER, A.; DOLZAN, P.; PIACENTE, E. Biomass energy and bio-energy trade: historic developments in Brazil and current opportunities. **Country Report: Brazil–Task**, 2006.
- WANG, B. et al. A decision model for energy resource selection in China. **Energy Policy**, v. 38, n. 11, p. 7130-7141, 2010.
- WANG, Z. et al. Socioeconomic effects of aviation biofuel production in Brazil: A scenarios-based Input-Output analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 1036-1050, 2019.
- WHEELER, J. et al. MINLP-based Analytic Hierarchy Process to simplify multi-objective problems: Application to the design of biofuels supply chains using on field surveys. **Computers & Chemical Engineering**, v. 102, p. 64-80, 2017.
- WIND, Y.; SAATY, T. L. Marketing applications of the analytic hierarchy process. **Management science**, v. 26, n. 7, p. 641-658, 1980.
- WOOD JR, T.; CALDAS, M. P. Empresas brasileiras e o desafio da competitividade. **Revista de administração de empresas**, v. 47, n. 3, p. 1-13, 2007.
- YIN, Robert K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. [S.l.]: Penso Editora, 2016.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZAGO, C. A.; WEISE, A. D.; HORNBURG, R. A. A importância do estudo de viabilidade econômica de projetos nas organizações contemporâneas. In: CONGRESSO VIRTUAL BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO, 6., 2009. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2009. p. 1-15.

ZANIN, M. G. **The Green Airport concept and the International Flight Academy on biofuels.** 2008. Tese (Doutorado Internacional em Ciências Ambientais) – da Universidade de Baylor, Texas, EUA, 2008.

ZYLBERSZTAJN, D. Papel dos contratos na coordenação agro-industrial: um olhar além dos mercados. **Revista de Economia e Sociologia Rural, Brasília**, v. 43, n. 3, 2005.



## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE DO BIOCOMBUSTÍVEL DI-AMIL ÉTER (DAE)

**OBJETIVO DO ESTUDO:** Analisar a competitividade, por meio de abordagem multicritério, no processo de produção do composto oxigenado di-amil éter (DAE) para a utilização como um aditivo na formulação de biocombustíveis de aviação.

**DI-AMIL ÉTER (DAE):** O processo de síntese do composto utiliza-se o álcool isoamílico e um corte dos hidrocarbonetos C<sub>5</sub>. O álcool isoamílico é obtido por meio do etanol (presente no óleo fusel da destilação do etanol e partir da cana de açúcar), já os hidrocarbonetos C<sub>5</sub> são oriundos do petróleo por meio de craqueamento térmico nafta. Para que a reação ocorra é adicionado como catalizador a resina Amberlyst 36.

**INSTRUÇÕES:** Logo abaixo tem-se 15 critérios que compõem a análise da competitividade do biocombustível di-amil éter (DAE). O questionário busca coletar informações sobre o **grau de importância** de cada critério em relação para o quesito **competitividade**. Cada critério possui sua definição no glossário. Após compreensão dos critérios, tem-se na Tabela 8 os valores que você irá utilizar para avaliar cada critério que está na Tabela 9.

Agora é apresentado o glossário que compõe as definições de todos os 15 critérios analisados.

### **GLOSSÁRIO**

- **Matéria-prima:** Compreende a escolha do insumo necessário para a produção do biocombustível. A biomassa é toda a matéria orgânica utilizada para a produção de energia limpa. Por exemplo, cana de açúcar, mamona, soja, canola, algas entre outras matérias-primas podem ser utilizadas para produção de bioquerosene.
- **Rotas de conversão:** Esse critério compreende a importância da escolha da rota de produção. Hoje em dia, existem cinco rotas aprovadas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) para a produção de biocombustível. *Fischer-Tropsch* (FT); *Hydroprocessed esters and fatty acids* (HEFA); *Alcohol (isobutanol) to jet* (ATJ); *Alcohol (ethanol) to jet* (ATJ) e *Synthesized iso-paraffins* (SIP).

- **Característica físico-química:** Um biocombustível precisa possuir as características físico-químicas semelhantes com o querosene tradicional de aviação (QAV-1) para ser misturado e utilizado nas turbinas de aeronaves. As normas técnicas estabelecidas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM); *Energy Institute* (IP) e nacionalmente pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) estabelecem padrões para as seguintes características: aparência, composição, volatilidade, fluidez, combustão, corrosão, estabilidade, contaminantes, condutividade, lubricidade e porcentagem de mistura.
- **Processos:** Para produção de biocombustível, deve-se possuir um sistema de produção padronizado. Garantir confiabilidade dos processos químicos são importantes para que o produto final possua alta qualidade constante, independente da escala de produção.
- **Disponibilidade:** Esse critério representa a escala de produção, ou seja, a garantia que um determinado volume de produção seja atendido. A produção de um biocombustível não deve sofrer interrupções, pois para atender as aeronaves deve-se possuir produção contínua do biocombustível. A disponibilidade compreende o produto final e os insumos intermediários em todo o sistema produtivo (cultivo de matéria-prima, insumos, produção e produto final).
- **Logística e distribuição:** Representa a cadeia de distribuição do biocombustível, para que o produto final chegue aos clientes. Entende-se como uma logística que colete e distribua o biocombustível da origem até o destino.
- **Custos:** Esse critério compreende os custos: projeto, equipamentos, insumos, impostos e demais elementos que representam empecilhos financeiros para que a produção do biocombustível em uma escala seja viável.
- **Preço final:** Esse critério representa o preço por litro que o biocombustível será comercializado. Além disso, leva-se em consideração que o preço por litro do bioquerosene será comparado com o tradicional querosene de aviação (QAV-1).



- **Subsídio governamental:** Esse critério representa o grau de incentivo governamental para o fomento da tecnologia. Incentivos fiscais, políticas públicas, regulamentações e parceria público-privada.
- **Emprego e crescimento regional:** Esse critério avalia a ampliação de postos de trabalho, desenvolvimento econômico regional.
- **Mercadológico:** Avalia o grau de aceitabilidade e as dificuldades na comercialização do biocombustível em um mercado dominado por combustíveis fósseis. Sabe-se que um biocombustível irá competir com uma indústria de combustível fóssil que está atuante a século.
- **Adequação de refinarias:** Esse critério compreende possível adaptação das, já em funcionamento, plantas de produção para produzir o biocombustível. Novos equipamentos, expansões, entre outros elementos que podem ser necessários para a produção.
- **Homologação e utilização:** Avalia o grau de importância em se homologar e poder utilizar o biocombustível. A Agência Nacional do Petróleo (ANP) estabelece vários regulamentos e testes para que um biocombustível seja certificado nacionalmente.
- **RenovaBio:** O RenovaBio faz parte do programa nacional dos biocombustíveis. Uma política para ajudar a definir estratégias de segurança energética e redução de emissão de gases de efeito estufa. Assim, esse critério representa a importância desse programa para o desenvolvimento do bioquerosene.
- **Princípios RSB:** Os princípios e critérios da *Roundtable Sustainable Biomaterials* (RSB) descrevem como produzir biomassa, biocombustíveis e biomateriais de maneira social e economicamente viável. No total são 12 princípios e critérios que se atendidos, recebem o certificado internacional. Os 12 critérios são: Legalidade; Melhoria contínua; Emissões GEE; Direitos humanos e trabalhistas; Segurança alimentar local; Desenvolvimento rural & social; Conservação; Solo; Água; Qualidade

do ar; Tecnologia e área cultivável. Assim, esse critério irá avaliar a importância desses princípios e critérios para a produção de biocombustível.

Após a apresentação dos 15 critérios, abaixo na Tabela 8 estão as seguintes informações: valores da intensidade de importância e a definição de cada valor. Esses valores irão representar o **grau de importância** de cada um dos critérios analisados.

Tabela 8 – Escala de Saaty

Intensidade da importância	Definição
1	Alguma importância
3	Importância pequena
5	Importância grande
7	Importância muito grande
9	Importância absoluta

Fonte: adaptado de Saaty (2009).

Por fim, após a **entendimento de todas as informações acima**, clique na caixa de seleção “” campo intensidade (1,3,5,7,9) da Tabela 9 em cada um dos 15 critérios. O preenchimento deverá ser efetuado em linhas do CR1 até CR15. Lembrando que o valor escolhido representará o grau de importância do critério.

Tabela 9 – Análise dos critérios

		(continua)				
CRITÉRIOS		Intensidade				
		1	3	5	7	9
CR1	Matéria-prima	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CR2	Rotas de conversão	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CR3	Características físico-química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CR4	Processos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CR5	Disponibilidade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CR6	Logística e distribuição	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CR7	Custo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tabela 9 – Análise dos critérios

(conclusão)

CRITÉRIOS	Intensidade				
	1	3	5	7	9
<b>CR8</b> Preço final	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>CR9</b> Subsídio governamental	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>CR10</b> Homologação e utilização	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>CR11</b> Emprego e crescimento regional	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>CR12</b> Mercadológico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>CR13</b> Adequação de refinarias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>CR14</b> RenovaBio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>CR15</b> Princípios RSB	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fonte: Autor (2019).