



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA



GABRIELA PETERSON VARGAS

*USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NO
SETOR DE TRANSPORTE DE BIOETANOL DO
MATO GROSSO DO SUL.*

DOURADOS

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA



GABRIELA PETERSON VARGAS

*USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NO
SETOR DE TRANSPORTE DE BIOETANOL DO
MATO GROSSO DO SUL.*

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia de Energia
da Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal da Grande Dourados como requisito à
obtenção do título de bacharel em Engenharia de
Energia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mirko V. Turdera

DOURADOS

2017

GABRIELA PETERSON VARGAS

*USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NO SETOR DE TRANSPORTE DE
BIOETANOL DO MATO GROSSO DO SUL.*

Relatório final, apresentado a Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em engenharia de energia.

Local, ____ de _____ de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Eduardo Mirko Valenzuela Turdera
Afiliações

Prof. Omar Seye
Afiliações

Prof. Márcio Rogério Silva
Afiliações

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

V297u Vargas, Gabriela Peterson

USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NO SETOR DE TRANSPORTE
DE BIOETANOL DO MATO GROSSO DO SUL / Gabriela Peterson

Vargas -- Dourados: UFGD, 2018.

71f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Eduardo Mirko Valenzuela Turdera

TCC (Graduação em Engenharia de Energia) - Faculdade de
Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Programação Linear. 2. Setor de Transporte. 3. Etanol. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

Dedico este trabalho á Deus e aos meus pais, que foram meu suporte e
incentivadores de todos meus planos e sonhos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Mirko Vanzuela Turdera, por toda a compreensão, ensinamentos e amizade.

Ao curso de Engenharia de Energia, coordenação e todo o corpo docente que sempre incentivou no decorrer da vida acadêmica.

Aos meus amigos Lauanna Fernanda Almeida, Jessica Rodrigues Diniz, Pedro Henrique Novais por sempre me apoiarem e acreditarem em mim.

Aos meus pais, Anibal Aguilera Vargas e Cláudia Peterson Vargas e também ao meu irmão Geovani Peterson Vargas, por todo amor e incentivo que tiveram comigo.

*"Consagre ao Senhor tudo o que você faz,
e os seus planos serão bem-sucedidos."*

Provérbios 16:3.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o estudo que foca a aplicação de duas ferramentas de programação linear (PL) visando otimizar o transporte de etanol na malha rodoviária do estado de Mato Grosso do Sul, desde as fontes de produção (usinas sucroenergéticas) até os centros de consumo. As ferramentas utilizadas são Custo Mínimo (CM) e o Método Vogel (MV), ambas as abordagens são comparadas em termos de custos. A PL montada tem como função objetivo otimizar o fluxo de etanol escoado nas rodovias pela frota de caminhões. Após fazer iterações diversas com as ferramentas de CM e MV se obteve os seguintes resultados: o custo por metro cúbico de etanol transportado foi de R\$ 86,84/m³ para o MV e R\$ 41,68/m³ para o CM, ou seja, um custo 50% menor que o MV.

Palavras-chave: Programação Linear, Setor de Transporte, Etanol.

ABSTRACT

The goal of the present work is the utilization of Linear Programming tools to optimize the ethanol transported by roads of Mato Grosso do Sul state. We consider a point-to-point transportation network on which we have a set of sugar energy mills like the ethanol production sources, and a set of nodes destinations composing by the urban ethanol centers consumers both are linked by local routes that are the paths according the topology network theory. The optimization flow of ethanol in the network road transportation is analyzed by the applying of two tools: Minimum Cost (MC) and Vogel Method (VM). We make a comparison between both cases aiming to minimize the transportation cost of the ethanol made by trucks, when used the MC approach this cost is R\$ 41,68/m³ and by the VM is R\$ 86,84/m³.

Keywords: Linear Programming, Transportation Sector, Ethanol.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DAS RODOVIAS NO MATO GROSSO DO SUL.....	10
FIGURA 2 - MAPA NACIONAL COM A DISTRIBUIÇÃO DAS ALÍQUOTAS DE ICMS.	19
FIGURA 3 - COMPOSIÇÃO DO PREÇO DO ETANOL, MÉDIA NACIONAL.....	20
FIGURA 4 - DIAGRAMA DAS ATIVIDADES BÁSICAS DA PESQUISA OPERACIONAL	25
FIGURA 5 – ESQUEMA DE REDE DE GRAFOS DO PROBLEMA ESTUDADO	37
FIGURA 6 - MAPA DO ESTADO DE MS COM A DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES PRODUTORAS, DE ACORDO COM A NOMENCLATURA DA TABELA 1.	40

LISTA DE GRÁFICO

GRÁFICO 1 - RANKING MUNDIAL DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.....	2
GRÁFICO 2- HISTÓRICO MUNDIAL DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.	3
GRÁFICO 3 - PARTICIPAÇÃO DOS PRINCIPAIS BIOCOMBUSTÍVEIS NA PRODUÇÃO MUNDIAL.....	4
GRÁFICO 4 - MATRIZ DE TRANSPORTE NO BRASIL.	7
GRÁFICO 5 - RODOVIAS NO BRASIL.....	9
GRÁFICO 6 - PRODUÇÃO DO BIODIESEL NO BRASIL DE 2005 A 2016, MÊS A MÊS.	11
GRÁFICO 7 - PRODUÇÃO DO BIODIESEL NO MATO GROSSO DO SUL DE 2009 A 2016, MÊS A MÊS.	12
GRÁFICO 8 - PRODUÇÃO DO BIOETANOL NO BRASIL DE 2012 A 2016, MÊS A MÊS.	13
GRÁFICO 9 - PRODUÇÃO DO BIOETANOL NO MATO GROSSO DO SUL DE 2012 A 2016, MÊS A MÊS.	14

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - USINAS SUCROENERGÉTICAS NO MATO GROSSO DO SUL.....	39
TABELA 2 - GRUPOS DE CIDADES COM SUAS RESPECTIVAS DEMANDAS.....	41
TABELA 3 - TABELA DEMOSTRANDO A ANÁLISE DO CM APLICADA AO PTRAN ESTUDADO.	44
TABELA 4 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO CUSTO MÍNIMO - CIDADES DE 1 A 7. (continua)	44
TABELA 5 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO CUSTO MÍNIMO - CIDADES DE 8 A 14. (continua)	45
TABELA 6 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO CUSTO MÍNIMO - CIDADES DE 15 A 21.(continua)	45
TABELA 7 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO CUSTO MÍNIMO - CIDADES DE 22 A 28. (continua)	46
TABELA 8 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO CUSTO MÍNIMO - CIDADES DE 29 A 32.	46
TABELA 9 – MATRIZ DA DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA PELO MV. (continua)	48
TABELA 10 - MATRIZ DA DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA PELO MV. (continua)	48
TABELA 11 - MATRIZ DA DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA PELO MV. (continua)	49
TABELA 12 - MATRIZ DA DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA PELO MV. (continua)	49
TABELA 13 - MATRIZ DA DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA PELO MV.	50

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO ENTRE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO	5
QUADRO 2 – QUADRO DE MODELO DAS RESTRIÇÕES (DISTÂNCIAS)	31
QUADRO 3 – QUADRO DE CUSTO DO PROBLEMA DE TRANSPORTE	31

LISTA DE ABREVIATURAS

ACA	-	Altas Concentrações de Açúcar
ANP	-	Agência Nacional do Petróleo
CCA	-	Centros Coletores
CIDE	-	Contribuição de Intervenção no Domínio econômico
CM	-	Custo Mínimo
DNIT	-	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
GG	-	Grafos Generalizados
IAA	-	Instituto de Açúcar e do Alcool
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	-	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços.
MV	-	Método Vogel
PL	-	Programa Linear
PO	-	Pesquisa Operacional
PIB	-	Produto Interno Bruto
PNPB	-	Programa Nacional de Produção de Uso do Biodiesel
PTRAN	-	Problema de Transporte
Proálcool	-	Programa Nacional do Alcool
Proconve	-	Programa de Controle de Poluição do ar por veículos automotores
PIS	-	Programa Integração Social
RFS	-	Renewable Fuel Standard
STI	-	Secretaria de Tecnologia Industrial
Tep	-	Tonelada equivalente de petróleo

UDOP	-	União dos Produtores de Bioenergia
ÚNICA	-	União da Indústria de Cana de Açúcar

SUMÁRIO

1. MERCADO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS.	1
1.1. OS BICOMBUSTÍVEIS NO ÂMBITO INTERNACIONAL.....	1
1.2. SETOR DE TRANSPORTE DOS BIOCOMBUSTÍVEIS.....	6
1.2.1. Setor de transporte no Brasil.	6
1.2.2. Setor de Transporte no Mato Grosso do Sul.	9
1.3. PRODUÇÃO BRASILEIRA DO BIOETANOL E DO BIODIESEL.	10
1.4. LOGÍSTICA DO TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS.....	14
1.5. FORMAÇÃO DO PREÇO DA CADEIA DE VALOR DO BIOETANOL	16
1.6. A POLÍTICA REGULATÓRIA DO MERCADO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS. ...	20
1.7. CONCLUSÃO.	22
2. APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO PARA O TRANSPORTE DOS BIOCOMBUSTÍVEIS	24
2.1. PESQUISA OPERACIONAL E PROGRAMAÇÃO LINEAR (PL)	24
2.1.1. Modelagem através da programação linear	27
2.2. MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO APLICADOS AOS PROBLEMAS DE TRANSPORTE (PTRAN)	30
2.2.1. Grafos Generalizados (GG)	33
2.2.2. Regra do Canto Noroeste.....	34
2.2.3. Método do Custo Mínimo (CM).....	34
2.2.3. Método Vogel (MV)	35
3. ESTUDO DE CASO: A OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DO BIOETANOL NO MATO GROSSO DO SUL MEDIANTE O USO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	36
3.1. ADAPTAÇÃO DE UM PL PARA À LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO DO BIOETANOL	36
3.2. PERFIL DA CADEIA DE DISTRIBUIÇÃO DO BIOETANOL NO MS.....	38
3.2.1. Produtores de Bioetanol	38

3.2.2. Centros consumidores.....	40
3.2.3. Agentes presentes na distribuição do bioetanol.	42
3.3. ANÁLISE DO TRANSPORTE DE ETANOL PELOS MÉTODOS CUSTO MÍNIMO E VOGEL.....	42
3.3.1. Uso do método do Custo Mínimo.	43
3.3.2. Análise do Método Vogel.....	47
3.3.3. Análise comparativa entre as duas metodologias.....	50
3.4. CONCLUSÃO	51
4. ESTUDOS FUTUROS	52
REFERÊNCIAS.....	53

1. MERCADO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS.

1.1. OS BICOMBUSTÍVEIS NO ÂMBITO INTERNACIONAL

Os biocombustíveis são combustíveis derivados de fontes biológica e natural, que tem como função, diminuir o uso dos combustíveis fósseis ou a mistura com os mesmos, com o objetivo de diminuir a emissão de gases. Os biocombustíveis são uma fonte renovável de energia que utilizam a biomassa como insumo energético para gerar o bioetanol, o biodiesel, o biogás, o óleo vegetal e outros. As vantagens da utilização dos biocombustíveis são: o menor índice de liberação de poluentes durante seu processamento e queima, além do mais a biomassa é em sua maioria proveniente de plantações, o que significa que são renováveis. Em segundo lugar, o aproveitamento dos biocombustíveis contribui na diminuição da dependência relação à utilização dos combustíveis fósseis, melhorando o perfil da matriz energética.

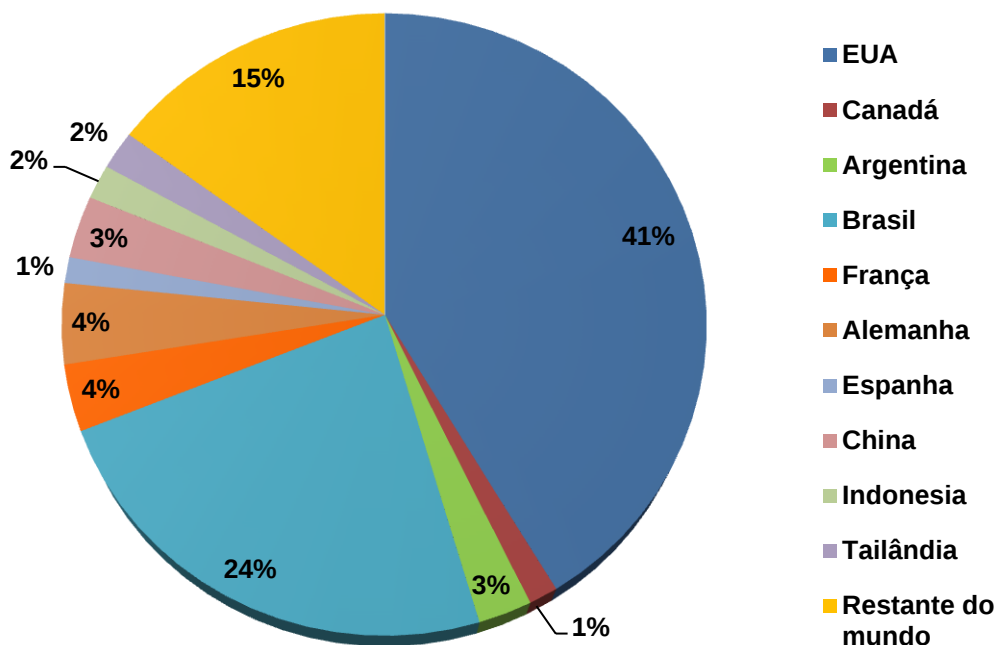
Eventualmente proporciona um aumento no índice de exportação do país e gera empregos com sua cadeia produtiva, criando assim todo um favorecimento socioeconômico. Porém, como pode ser expresso pela primeira lei da termodinâmica, em todo processo térmico ocorrem perdas, denominado entropia, que em sua essência pode ser dito como desvantagem no processo, este caso se aplica também aos biocombustíveis. Entre suas desvantagens estão o uso intensivo da terra pela necessidade de grandes áreas agricultáveis, o que pode ocasionar a intensificação do desmatamento em decorrência da expansão das fronteiras agrícolas. Por último tem-se, em algumas situações, a concorrência da produção de biomassa para a produção de biocombustíveis ao invés da produção de alimentos causando o acréscimo de alguma commodity agrícola no mercado alimentício. (AZEVEDO, 2016).

Entre os biocombustíveis líquidos que se destacam na produção mundial estão o bioetanol e o biodiesel. De acordo com RIBEIRO (2014), o etanol é um biocombustível altamente inflamável que pode ser obtido a partir da cana de açúcar, do milho, da beterraba, da mandioca, da batata, sendo a cana mais utilizada devido a sua maior produtividade diante das outras culturas. Ele pode ser utilizado puro (hidratado) ou misturado (anidro) com gasolina. Apesar da cana ter maior produtividade em relação às outras culturas devemos nos atentar ao fato de que o país (EUA) com maior produção de bioetanol mundial utiliza como matéria prima o

milho. Esse fato será discutido no decorrer do trabalho. RIBEIRO (2013) define o biodiesel como um combustível renovável, utilizado em automóveis ou caminhões, derivado de óleos vegetais (girassol, mamona, soja, babaçu e outras oleaginosas) além de matérias-primas alternativas como a gordura animal, por exemplo, tutano de boi, ou óleos de frituras. O biodiesel é considerado um combustível ecológico devido sua queima ser classificado como uma “queima limpa”, ou seja, não contribui para o aumento dos gases de efeito estufa. O biodiesel pode ser misturado com óleo mineral, e é indicado pela letra B, seguido pelo valor da porcentagem de biodiesel que está presente na mistura. Desta forma o combustível B5, possui 5% de biodiesel na composição do diesel, embora, em alguns países, já utilizem o B100, que é o biodiesel puro.

O mercado dos biocombustíveis no âmbito internacional é liderado pela maior potência mundial, os Estados Unidos, que teve no ano de 2015 uma produção de 30.983×10^3 tep, sendo seguido pelo Brasil com uma produção de 17.636×10^3 tep. O ranking mundial de produtores de biocombustíveis é exposto no gráfico abaixo, o qual apresenta os principais produtores de biocombustíveis no mercado internacional, observa-se como EUA, Brasil e França, sendo responsável por aproximadamente 70% da produção mundial.

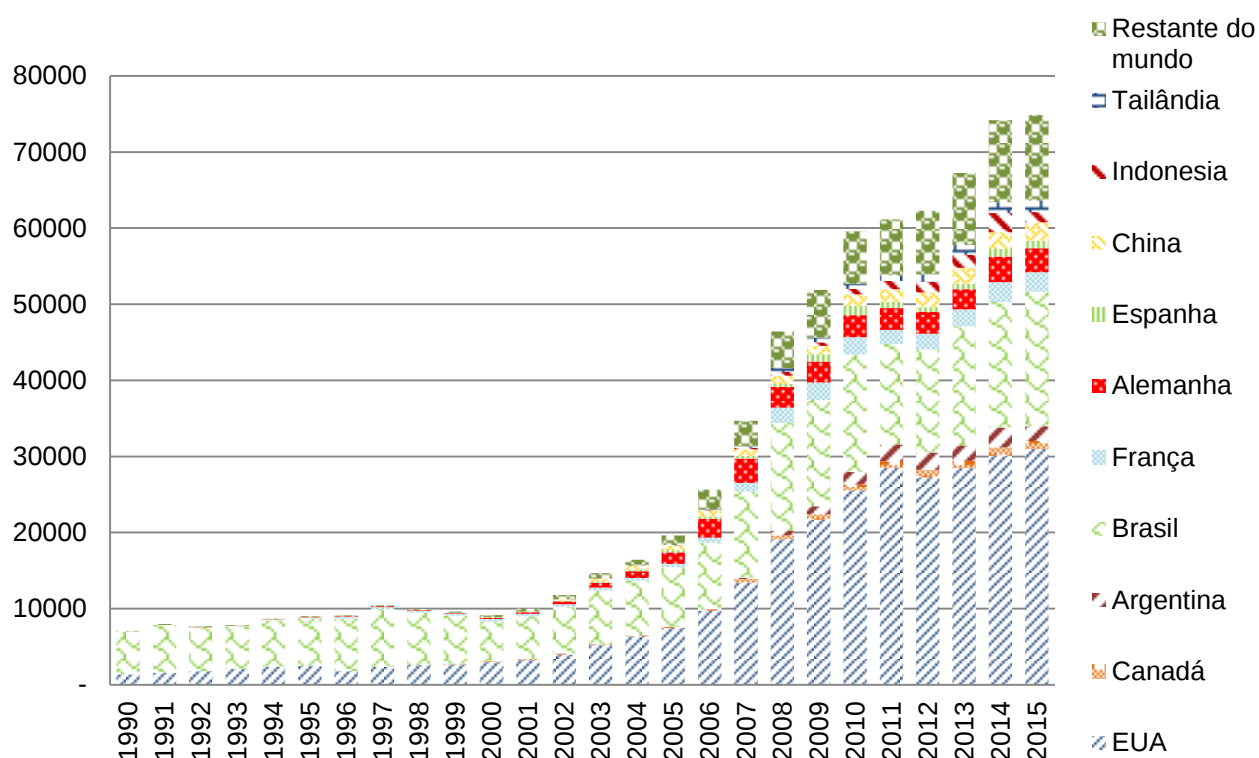
GRÁFICO 1 - RANKING MUNDIAL DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.



(BP 2016, elaboração própria).

No entanto os EUA nem sempre se destacaram como o principal produtor de biocombustíveis mundial, se observamos o gráfico 2, é apresentado o histórico de produção de biocombustíveis. Durante toda a década de 90, os únicos países que produziam biocombustíveis eram o Brasil e os EUA, e nesse período o maior produtor era o Brasil, porém houve mudanças no cenário mundial da produção a partir do ano 2000, pois, outros países entraram nesse mercado.

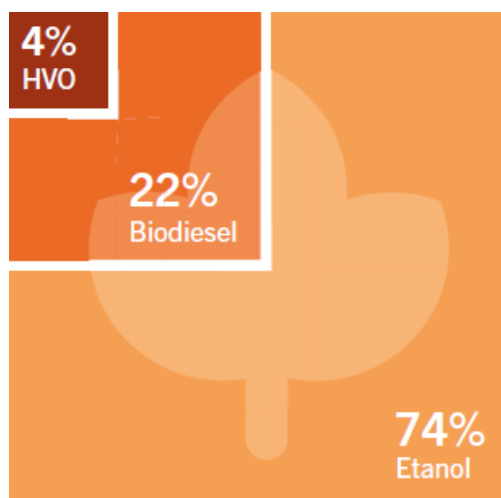
GRÁFICO 2- HISTÓRICO MUNDIAL DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.



(BP 2016, elaboração própria).

Os dois principais biocombustíveis são o Bioetanol e Biodiesel, deles o bioetanol é o que representa em torno de 74 % de toda a produção mundial. (REN, 2016). O gráfico 3 mostra a participação dos principais biocombustíveis na produção mundial.

GRÁFICO 3 - PARTICIPAÇÃO DOS PRINCIPAIS BIOCOMBUSTÍVEIS NA PRODUÇÃO MUNDIAL.



(REN 2016).

A mudança no mercado de biocombustíveis dos Estados Unidos, que ocorreu a partir do ano 2000, é decorrente da formulação de políticas energéticas e ambientais no país, que obteve como consequência o aumento da produção do biocombustível. Dentre as leis e normas criadas que propiciaram a expansão da produção de biodiesel as principais foram: banir o aditivo MTBE (metil-tércio-butil éter) na mistura da gasolina, promulgada no ano de 1999, e a lei denominada *Renewable Fuel Standard* (RFS), assinada pelo presidente Bush, em agosto de 2005, que tem como principal objetivo a obrigatoriedade da mistura e consumo de biocombustíveis em combustíveis fósseis. Com a implementação dessas políticas os EUA tornaram-se a maior potência com relação à produção dos biocombustíveis.

Uma das grandes diferenças entre o EUA e o Brasil, é o tipo de matéria prima utilizada na produção do bioetanol. Os EUA têm como principal matéria prima o milho e o Brasil a cana de açúcar, porém uma análise entre as duas matérias primas mostra que cada hectare plantada de milho rende 8,1 toneladas em comparação, a cana de açúcar rende 90 toneladas. (ANDREOLI, 2006). Outro ponto importante é o balanço de energia, que significa quantas unidades energéticas foram gastas ou obtidas para produzir uma unidade energética no final do processo, ou o raciocínio inverso também é válido. Sendo assim, na produção que utiliza o milho temos um balanço negativo de 1,29:1, que representa que a cada 1 kcal de energia fornecida pelo bioetanol, é gasto

29% a mais de energia para produzir o bioetanol, Por outro lado, o balanço energético da cana é positivo (1:3,24), para cada 1 kcal de energia consumida para produção de bioetanol, se tem um ganho de 3,24 kcal pelo bioetanol produzido. (ANDREOLI, 2006). Outros parâmetros de comparação são expostos no quadro 1.

QUADRO 1 - PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO ENTRE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO

Parâmetro	Unidades	Cana-de-açúcar	Milho
Rendimento	t/há	90	8,1
Energia Exigida	kcal x1000	10.509	8.115
Produção de álcool	litros/há	8.100	3.000
Produção de álcool	litros/ t	90	371
Taxa de Conversão	kg/ 1000L	11.110	2.690
Gasto de Energia Total	kcal/ 1000L	1.518.000	6.597.000
Produção Total Atual	Bilhões (L)	15,8	17,2
Balanço de Energia	Kcal	1:3,2	1,29:1

(ANDREOLI, 2006).

Após observar os parâmetros nota-se que a cana-de-açúcar é uma matéria prima mais eficiente, porém existe a controvérsia do maior produtor mundial utilizar o milho. Como os EUA desejam permanecer como a primeira potência econômica mundial, eles têm criado diversas leis de incentivo à produção do bioetanol, e também todo milho que é destinado à produção do bioetanol é executada desde a fase do plantio para que se possa realizar a maior quantidade de energia. Outro ponto positivo é não possuir o período de entressafra como ocorre com a cana-de-açúcar, quando a colheita para três meses do ano, sendo que nessa época do ano muitas vezes o Brasil importou o biocombustível dos EUA. (NOVACANA, 2017). Outra vantagem dos EUA é o tipo de tecnologia que eles têm disponível para o melhor aproveitamento da matéria prima, entre elas a utilização de tecnologia molecular na destilação, com o uso de enzimas hidrolíticas (amilases e glucoamilases) enquanto o milho é moído ou fracionado, processo que facilita a hidrólise enzimática e que ocasiona um aumento no rendimento do bioetanol. Outra tecnologia utilizada nas unidades sucroenergéticas dos EUA é a fermentação a partir de mostos de altas concentrações de açúcar (ACA), também denominado de alta densidade. Essa tecnologia tem por objetivo o aumento do teor de açúcares total, para obter uma concentração maior de bioetanol fermentado. (BORTOLETTO & ALCARDE, 2015). Devido a essas tecnologias,

políticas energéticas, industriais, ambientais e empenho as unidades produtoras de biocombustíveis dos EUA assumiram a liderança no ranking de produtores mundiais e tem trabalhado para se manter nessa posição de liderança na produção de biocombustíveis.

1.2. SETOR DE TRANSPORTE DOS BIOCOMBUSTÍVEIS.

O Brasil é o segundo maior produtor de biocombustíveis líquidos no mundo, porém a forma como o combustível é produzido e transportado para ser distribuído e até mesmo exportado é questionável, pois, é feito pela frota de caminhões pipa ou cisternas, que usam diesel, combustível fóssil que no processo de combustão no motor expelle gases de efeito estufa. No decorrer deste item, será descrito o perfil dos sistemas de transporte do Brasil e, sobretudo, do Mato Grosso do Sul, Estado em que o estudo foi realizado.

1.2.1. Setor de transporte no Brasil.

O Brasil é um país de grande extensão territorial, com 8.515.767,049 km², valor publicado no DOU nº 234 de 08/12/2015, conforme Resolução Nº 07, de 4 de dezembro de 2015 (IBGE, 2015). Sendo o 5º País com maior extensão territorial do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China, Canadá e Rússia.

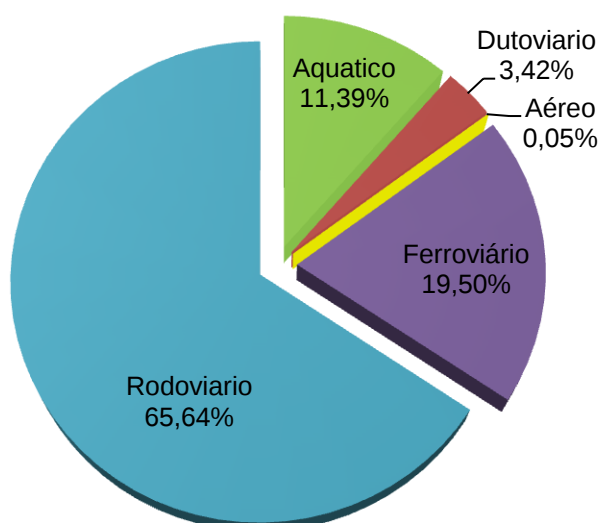
Devido ao Brasil possuir porte continental, os modais de transportes sempre foram um assunto discutido estrategicamente. Assim, a distribuição de alimentos e de recursos básicos para a população é feita através dos diversos modais de transporte, prevalecendo o modal rodoviário, seja para exportação e/ou importação de mercadorias e impacta diretamente na economia do país.

O sistema de transportes em um determinado território se compõe da oferta de infraestrutura (vias) e serviços (operação dos veículos) considerando todos os modos de transportes disponíveis que atendem a uma determinada demanda por movimento entre partes dessa região e entre esta e outras regiões. Uma primeira característica da oferta de transportes é que se trata de um serviço e não de uma mercadoria, por tanto, não se pode imaginar sua utilização quando existe uma demanda maior do que a sua capacidade, ou seja, dada a sua capacidade e oportunidades de operação, um serviço de transporte deve ser “consumido” quando e

onde se produz, caso contrário, perde-se seu benefício (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 2011).

O Brasil teve suas primeiras iniciativas tomadas para a criação de um sistema de transporte em 1934. Visto que inicialmente os investimentos eram realizados pelo sistema de transporte ferroviário, porém como o país possui grande extensão territorial logo os custos de implantação e ampliação eram altos. Os incentivos foram voltados para o transporte rodoviário, o qual sofreu uma rápida expansão, devido, sobretudo, ao forte *lobby* das empresas do setor automobilístico e das companhias de petróleo, assim a construção de rodovias aumentou ainda mais depois que a capital do país passou a ser a cidade de Brasília. Porém, com a crise econômica de 1980 todo o setor de transporte sofreu recessão, mas mesmo em situações precárias a rede rodoviária tem respondido por 65% do transporte de cargas e 92% do de passageiros. O modal hidroviário também faz parte da matriz de transporte nacional, porém este meio nunca foi devidamente explorado e também devido a algumas limitações como regimes hidrológicos, drenagem. O transporte aéreo é o modal que se encontra em expansão nos dias atuais, com foco principal no transporte de passageiros (Cepa, USP, 2010). A matriz modal do setor de transporte tem como seu principal componente o transporte rodoviário (ver gráfico 4).

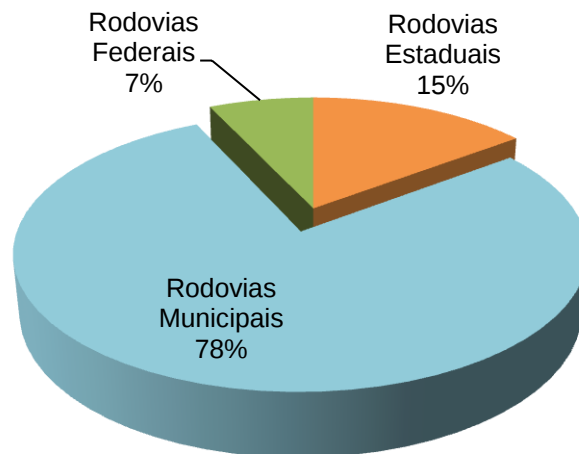
GRÁFICO 4 - MATRIZ DE TRANSPORTE NO BRASIL.



(Instituto de Logística e Supply Chain (ILOS)).

No Brasil, a demanda de energia do setor de transportes (83.153.000 tep) representou 33,4% de toda a matriz de demanda de energia nacional (em 2014, 243.911.000 tep). Embora o modal rodoviário detenha apenas 66% da matriz do setor de transportes seu consumo energético é de 70,7 bilhões tep, que equivale a 85% da demanda do setor. Para o mesmo ano, o PIB do setor foi de 101.658×10^6 US\$, o que corresponde apenas a 4,45% de PIB nacional (BEN, 2015).

O sistema rodoviário no Brasil é responsável maciçamente pelo transporte de cargas, de passageiros, de mercadorias e outros. O transporte de biocombustíveis utiliza da modal rodoviária. Em 2010, segundo a ILOS, 100% do biodiesel foi transportado por rodovias, e 90% do etanol, também utilizou este modal. Existem em todo o território rodovias federais estaduais e municipais (Gráfico 5). Segundo o DNIT (2015) o Brasil possui 1,7 milhão de quilômetros de estradas, das quais 12,9% (219, 3 mil quilômetros) são pavimentadas, 79,6 % (1,35 milhões de quilômetros) não pavimentada e 7,5% (130,7 mil quilômetros) de estradas planejadas. A malha rodoviária é adequada para curtas e médias distâncias, devido à facilidade de rotas por todo o território brasileiro e o fácil acesso, porém para grandes distâncias os custos se tornam altos, por conta da quantidade de combustível gasto, o tempo que será necessário para percorrer tal distância e também, pelos pedágios cobrados. Além de todos os custos, também existe o desgaste do veículo utilizado. O baixo custo inicial de implantação de rodovias é relativo, pois a malha rodoviária exige um alto custo de manutenção. A malha rodoviária se destaca por interligar todos os estados brasileiros, e possui uma grande capilaridade com grande extensão da malha, pela qual se pode percorrer o país de sul a norte, o que mostra sua importância para o setor comercial e industrial, sendo o maior sistema de transporte utilizado para distribuir por todo território nacional os biocombustíveis.

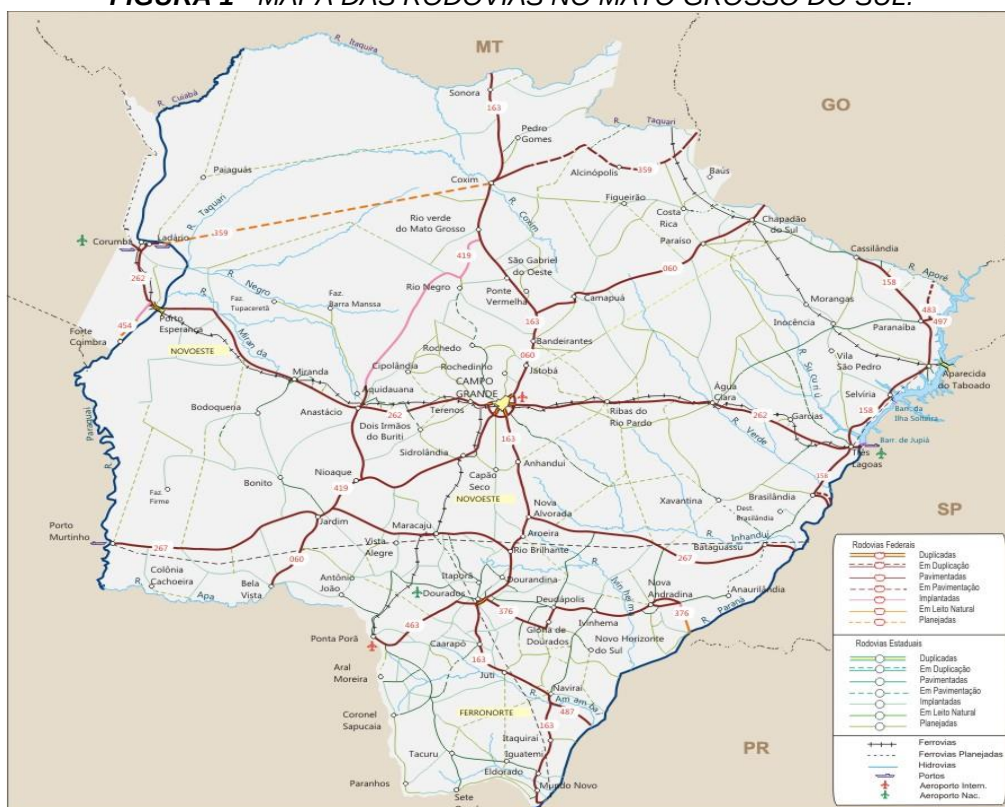
GRÁFICO 5 - RODOVIAS NO BRASIL.

(DNIT, 2015).

1.2.2. Setor de Transporte no Mato Grosso do Sul.

O Estado de Mato Grosso do Sul, localizado na região Centro-Oeste, do Brasil possui uma extensão territorial de 357.145,59 km², com a composição de 78 municípios, contato com 2.449.024,00 habitantes, e uma densidade demográfica de 6,86 hab./Km², (IBGE, 2010) caracterizando que o Estado possui maior distanciamento entre as cidades. A malha rodoviária do estado é muito utilizada para locomoção dos habitantes das pequenas cidades aos grandes centros e também para o transporte de produção rural e indústrias situadas no mesmo.

O setor rodoviário do Mato Grosso do Sul é constituído de vias federais, estaduais e municipais, as quais vinham sendo mantidas pelos seus respectivos órgãos responsáveis, porém, no ano de 2014, uma das principais rodovias federais a BR-163 foi privatizada, iniciando assim a inserção do setor privado nas rodovias do estado. A figura 1 mostra o mapa do estado do Mato Grosso do Sul em detalhe toda a atual malha rodoviária que possui 8.008,6 Km (12,3%) Pavimentada, 54.170,70 Km (82,2%) não pavimentada, 2.938,00 Km (4,5%) improvisada, totalizando um malha de 65.117,30 Km no estado de Mato grosso do Sul. (DNIT, 2015).

FIGURA 1 - MAPA DAS RODOVIAS NO MATO GROSSO DO SUL.

(Google, 2014).

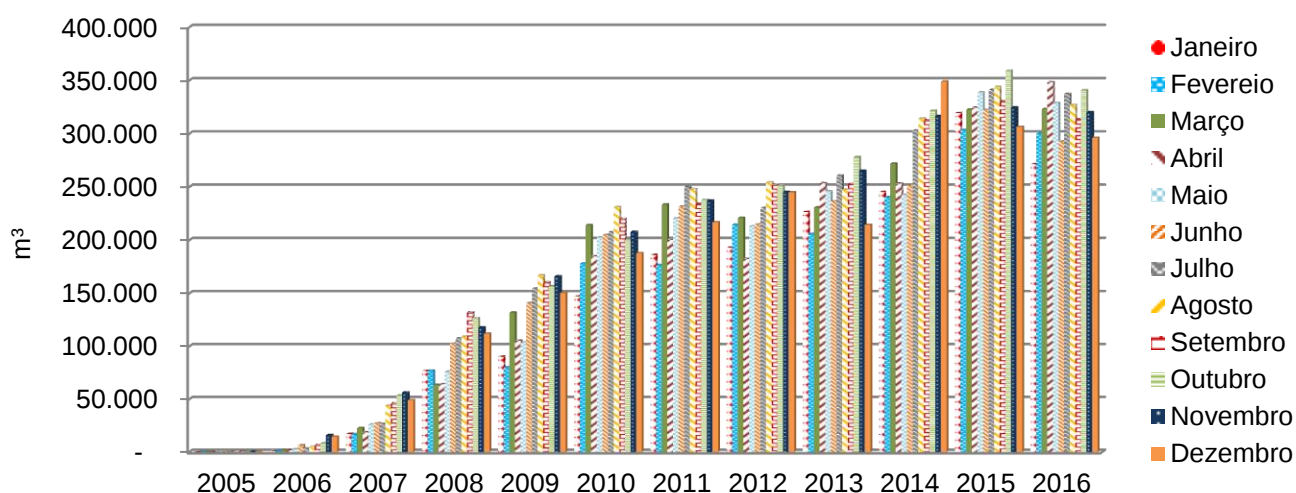
1.3. PRODUÇÃO BRASILEIRA DO BIOETANOL E DO BIODIESEL.

O biodiesel é o biocombustível obtido através de um processo químico, chamado de transesterificação, gerando dois produtos majoritariamente, o éster e a glicerina. O éster é utilizado para fabricar o biodiesel, após passar por todo o processo adequado para ser realizado o consumo.

Como necessidade de intervenção do Estado para criar mercado e incentivar a produção do biodiesel e inserir o biodiesel na matriz energética brasileira, foi lançado, em 2004, pelo governo federal o Programa Nacional de Produção de Uso do Biodiesel (PNPB). Além do lançamento deste programa, em 2004 teve o início a política de incentivo da mistura do biodiesel no diesel fóssil, do qual entre 2005 e 2007 era no teor de 2%, inicialmente de forma voluntária, porém a partir de 2008 a mistura passou a ser obrigatória, sendo a mesma gradativamente elevada no decorrer dos anos, contendo atualmente 7% de mistura. Com essa obrigatoriedade houve um grande aumento na produção de biocombustível entre 2006 a 2008 crescendo gradativamente no decorrer dos anos, como pode ser observado no gráfico abaixo. Contudo, ao se comparar o ano de 2015, que teve uma produção de 3.937.269,00 m³,

ao de 2016, que produziu 3.800.018,00 m³, é de fácil visualização que ocorreu um decréscimo em torno de 3% na produção neste último ano. Este fato pode se dar porque o país está enfrentando uma crise tanto econômica como política, a qual vem afetando todos os setores no país, no entanto, espera-se que a produção retome seu crescimento devido à política de aumento da porcentagem do biodiesel na mistura do diesel. (ANP, 2017).

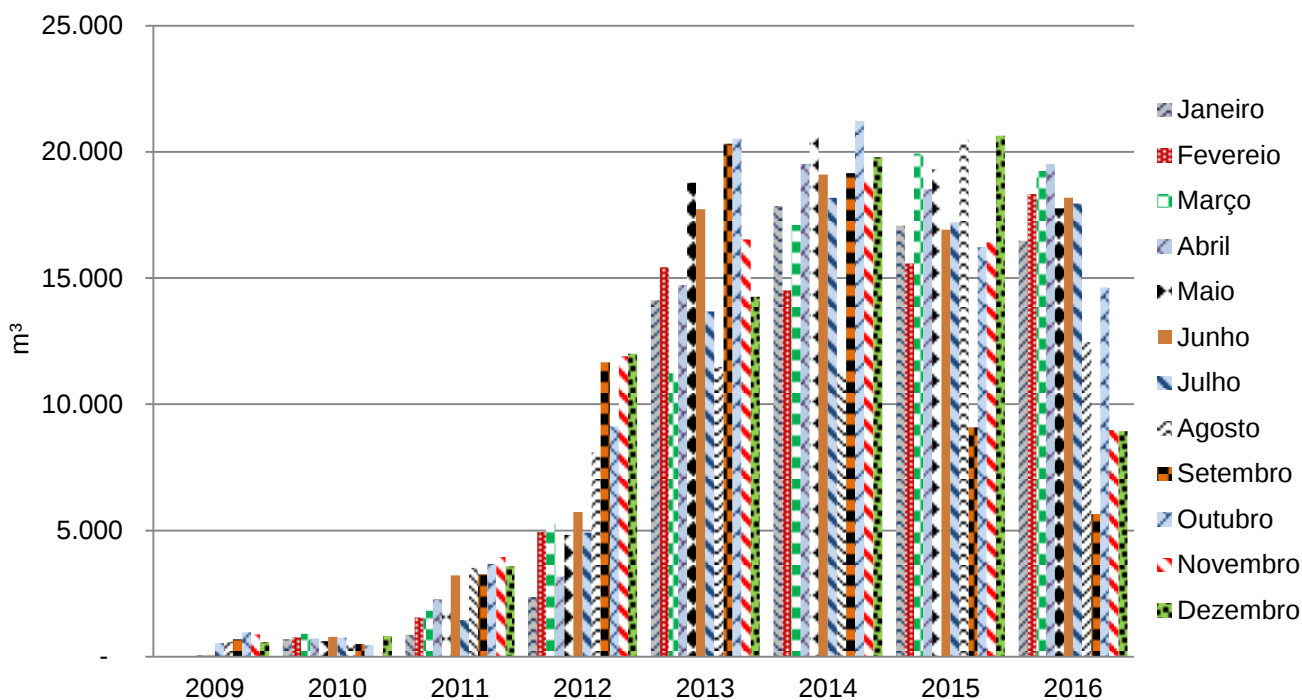
GRÁFICO 6 - PRODUÇÃO DO BIODIESEL NO BRASIL DE 2005 A 2016, MÊS A MÊS.



(ANP, 2017, elaboração própria).

No Brasil, os estados que mais se destacam como produtores de biodiesel são o Rio Grande do Sul, Mato Grosso e Goiás. Uma das causas do aumento da produção nos últimos anos é a consolidação do óleo de soja como principal insumo na produção de biodiesel (ILOS, 2013). O estado do Mato Grosso do Sul começou a produzir o biodiesel apenas a partir do ano de 2009, um ano após ser criada a lei que estabelecia a obrigatoriedade do uso do biodiesel no diesel. A produção no estado desde então vem crescendo ao decorrer dos anos, e atingiu seu auge no ano de 2014, quando foram produzidos 217.297,00 m³, e acompanhando a situação de crise nacional ocorreu o decréscimo em torno de 18% na produção no ano de 2016, quando foram produzidos 178.237,00 m³. Ver gráfico 7.

GRÁFICO 7 - PRODUÇÃO DO BIODIESEL NO MATO GROSSO DO SUL DE 2009 A 2016, MÊS A MÊS.



(ANP, 2017, elaboração própria).

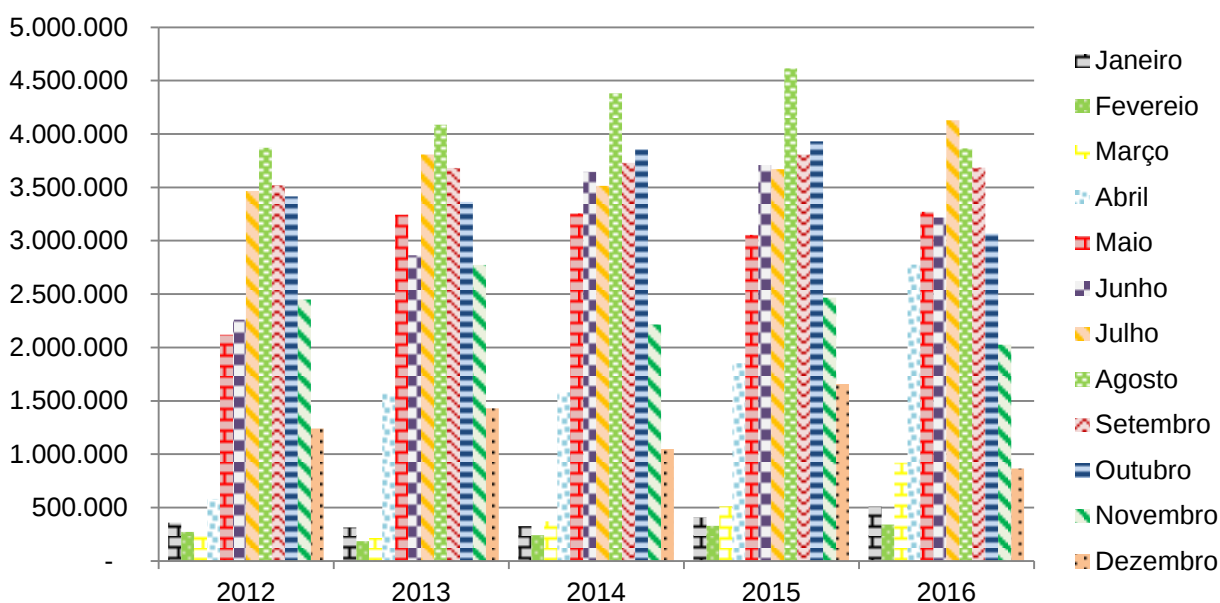
Quanto ao bioetanol, ele é uma substância química líquida que é produzida por meio da fermentação de açúcares. Desde 1970, após a segunda crise do petróleo e do lançamento do Programa Nacional do Alcool (ProAlcool), a produção do bioetanol tem crescido e se destacado no Brasil, tornando o país, em um dos que mais utilizam o bioetanol e ainda, sendo o segundo maior produtor mundial. Segundo dados da ANP, mostrados no gráfico 8, pode-se notar que a produção do bioetanol no país tem crescido nos últimos anos, um dos fatores que é responsável por esse crescimento é o aumento dos automóveis *flex*, com uma taxa de crescimento anual por volta dos 3%. No entanto, no último ano, 2016, houve uma queda, com relação ao ano anterior, essa queda chegou a 1.343.881,00 m³, referente a 4,7%, a mesma queda que foi observada para o biodiesel no gráfico 6. Ainda ao observar o gráfico 8, percebe-se que nos três primeiros meses de cada ano, houve baixos níveis de produção, este fato ocorre por coincidir com o período da entressafra das usinas sucroenergéticas. (NOVACANA, 2017).

O bioetanol brasileiro é produzido a partir da cana-de-açúcar, que rende cerca de 85 a 90 litros por tonelada. Em termos de produção por tonelada, a cana-de-açúcar perde em relação ao milho, que rende em torno 400 litros por tonelada. No entanto, a

produção do etanol a partir do milho leva um maior tempo de fermentação, em torno de 38 a 45 horas, em relação à cana que leva apenas 10 a 12 horas para o processo. Outra vantagem da cana-de-açúcar é que um hectare de cana produz em média 80 toneladas, já o rendimento do milho é de apenas 10 a 20 toneladas (NOVACANA, 2017). Além da produção dos biocombustíveis, outros subprodutos são gerados a partir de sua produção, tais, como a vinhaça e a torta de filtro, utilizadas como fertilizantes, e com a queima do bagaço da cana ocorre a cogeração. (PETROBRÁS, 2014).

Segundo a Petrobrás (2014), com a criação de novas tecnologias de aproveitamento da celulose que existe no bagaço, está sendo desenvolvida a produção do chamado etanol de segunda geração. Este último denominado o bioetanol do futuro, e que pode ampliar a capacidade de produção em até 40% sem o aumento das áreas plantadas do canavial, obtendo assim maior produtividade, eficiência e, aparente sustentabilidade no ciclo de produção.

GRÁFICO 8 - PRODUÇÃO DO BIOETANOL NO BRASIL DE 2012 A 2016, MÊS A MÊS.



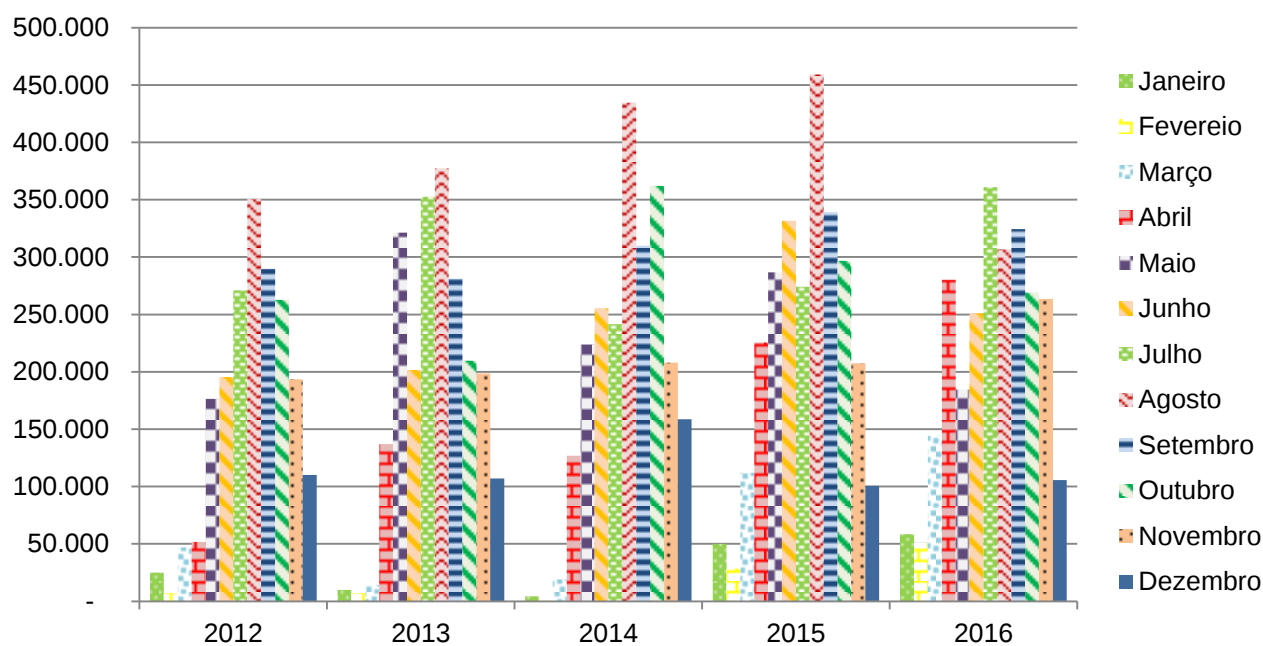
(ANP, 2017, elaboração própria).

A produção do bioetanol no Brasil ocorre nas usinas sucroenergéticas. O país, atualmente, tem aproximadamente 520 usinas espalhadas pelo território de 23 Estados, porém existe uma alta concentração na região Sudeste, onde está localizada mais de metade das usinas do total, sobretudo, no estado de São Paulo onde há aproximadamente 280 usinas seguido pelo estado de Minas Gerais com cerca de 45

usinas. Devido à falta de área para cultivo de matéria prima nesta região, existe um crescimento no setor nas outras regiões do país, com destaque para a região Centro-Oeste. (ILOS, 2013)

O Estado de Mato Grosso do Sul tem se destacado como produtor de bioetanol no país e na região Centro-Oeste. Atualmente têm em seu território 21 usinas em pleno funcionamento com uma capacidade instalada de produção de 3.670.800 m³ de bioetanol anuais. Porém, a produção do estado ainda não alcançou toda a capacidade máxima instalada, pois, mesmo no ano de maior produção (2015), as usinas entregaram apenas 74% de toda a capacidade instalada, atingindo o valor de 2.712.330,00 m³. A produção de bioetanol no Mato Grosso do Sul sofreu uma queda em 2016, com relação ao ano de 2015, queda essa de 112.388,00 m³ (4%).

GRÁFICO 9 - PRODUÇÃO DO BIOETANOL NO MATO GROSSO DO SUL DE 2012 A 2016, MÊS A MÊS.



(ANP, 2017, elaboração própria).

1.4. LOGÍSTICA DO TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS.

A logística do transporte de biocombustíveis, com foco no biodiesel e no bioetanol, é voltada, em nosso país, ao modal rodoviário, por deter a mais extensa malha no sistema de transporte do país. Essa malha facilita às usinas, que de modo geral estão em regiões agrícolas afastadas, para escoar os produtos fabricados nas

mesmas, a saber, açúcar e bioetanol. Outras vias de transporte de outros modais, ainda não são exploradas no transporte dos biocombustíveis. Em alguns casos, além de serem transportados apenas pelo modal rodoviário até os portos ou distribuidoras, ocorrem as denominadas “pontas rodoviárias”, curtos trechos rodoviários até terminais de transbordo para outros modais de transporte. (BNDES, 2010)

Em sua maioria a distribuição dos biocombustíveis é realizado através de rotas rodoviárias que conectam as usinas, distribuidoras e os postos de distribuição dos revendedores de combustíveis, porém existem casos de acordos comerciais entre usinas e distribuidoras que permitem o fluxo direto do bioetanol das unidades produtoras direto aos postos. Em casos de regiões mais distantes, ocorre o armazenamento das cargas em bases de distribuição que viabiliza o uso de outras modalidades de transporte, como ferroviária, na distribuição final de bioetanol. (BNDES, 2010)

Quando ocorrem casos de exportação do biocombustível, estes utilizam o transporte rodoviário até os portos, sendo este a única alternativa viável a unidades produtoras, por causa da falta de rotas que interliguem o país pelas outras modalidades, os altos custos dos transbordos intermodais e a falta de infraestrutura das demais modalidades que possuem acesso a portos. (BNDES, 2010)

Com o aumento da produção do bioetanol depois da crise de 1970 e também do biodiesel com o aumento da porcentagem na mistura do diesel, houve uma onda de investimentos em logística focada no modal rodoviário com aquisições de novos equipamentos rodoviários, como veículos mais robustos, pontos estratégicos para implementação de unidades de distribuição. Investimentos que são capazes de aumentar a capacidade de transporte e têm sido buscados pelas empresas responsáveis do transporte dos biocombustíveis. (BNDES, 2010)

A logística de exportação do bioetanol inicia-se nos portos, que possuem uma maior infraestrutura e capacidade de armazenamento e de maior produtividade sobretudo na região Sudeste. O principal porto de exportação de bioetanol do país é o de Santos (SP), que representa 66% das exportações do Brasil, em segundo vem o porto de Paranaguá (PR), que representa 18%. (SAUER, 2013)

Atualmente, as bases de distribuição do país, das principais distribuidoras Petrobras, Shell, Taurus, e outras, possuem instalações de recebimento do bioetanol, pelo modal rodoviário. Este frete geralmente é de responsabilidade da distribuidora, que pode optar pelo frete de transporte ou então contratar uma transportadora cadastrada na Agência Nacional de Transportes Terrestres, sendo esta a mais comumente utilizada. Em casos da utilização de outros modais as cargas são consolidadas em grandes volumes, geralmente armazenadas em centros coletores de álcool (CCA), e então transportadas por vias ferrovias, ou dutoviários, ou hidrovias. A Petrobrás também possui uma logística de cabotagem entre regiões, nos casos onde ocorrem problemas na produção, as distribuidoras e usinas se reúnem e concentram grande volume e cabotam o produto entre o Centro-Sul e Nordeste, ou ao contrário. Este tipo de logística é pra operações de grande escala e possui uma alta complexidade. (SAUER, 2013)

1.5. FORMAÇÃO DO PREÇO DA CADEIA DE VALOR DO BIOETANOL

Para entendimento da formação preço do etanol hoje, se faz necessário compreender um pouco do mercado nacional do etanol através dos anos.

Decorrente das duas crises do petróleo de 1973, em 1975 foi criado no Brasil o programa Proálcool. Com o lançamento do programa, as usinas de açúcar existentes receberam financiamentos para instalar aparelhos de destilarias maiores. Ao mesmo tempo, foram criadas as Destilarias Autônomas, unidades de produção voltadas exclusivamente para a produção de bioetanol, na época mais conhecido como álcool. Cerca de 180 unidades autônomas foram criadas em vários Estados brasileiros, buscando descentralizar a produção e utilizar novas áreas mais próximas dos centros de uso. Com o Proálcool o Brasil direciona a produção de etanol (BNDES, 2003; BACKES, 2009).

Porém com o passar do tempo o programa Proálcool acabou perdendo sua força e o apoio governamental, não se mostrando tão vantajoso como fora inicialmente apresentado. Diversos fatores contribuíram para que a produção de bioetanol fosse quase encerrada no final da década de 90, dentre eles a falta de incentivos fiscais e tributários, preço atrativo do açúcar no mercado internacional, baixo valor do barril de petróleo, oferta restrita do etanol, etc.

No entanto, com o lançamento dos carros *flex* a demanda por bioetanol cresceu novamente, pois, permite ao consumidor ter o poder de escolha entre abastecer seu veículo com gasolina ou bioetanol. Contudo, mesmo ocorrendo esse incentivo ao etanol hidratado, não tornava o biocombustível competitivo, sendo a escolha do consumidor realizada basicamente pelo preço e conveniência no uso do combustível. A atratividade do bioetanol é quando seu preço é no máximo 70% mais barato do que a gasolina tipo C, tornando vantajoso para o consumidor a troca entre os combustíveis. O mercado do etanol nesta época estava sofrendo com alguns fatores agrícolas, como adversidades climáticas e renovação inadequada de canaviais, e o mercado da gasolina se apresentando em um ótimo momento, tendo uma queda do preço do barril de petróleo, logo para o produtor sucroalcooleiro era mais vantajoso a produção de açúcar ao invés do bioetanol, já que a matéria prima de qualidade se encontrava escassa e ela, deveria ser utilizada de forma mais produtiva (BNDES, 2013). Com isso, o setor entrou em crise de oferta do bioetanol no país levando o governo a tomar algumas providencias como a redução do piso de mistura de etanol anidro na gasolina de 20% para 18%. O aumento da abrangência regulatória da ANP para toda a cadeia do etanol forçou a Petrobrás aumentar os investimentos na produção direta do bioetanol (ALMEIDA E VIEGAS, 2011).

O governo federal tem sido um grande auxiliar no mercado sucroalcooleiro. No ano de 2013 realizou uma redução 0,12 reais por litro no PIS/COFINS para ajudar a desoneração na produção do etanol, mas, ainda assim para o produtor não é suficiente, pois o mesmo sofre com outras influências que interferem na receita do bioetanol, tornando necessária uma mudança de dentro pra fora no setor, que deve ser realizada desde os custos de produção até a comercialização final.

Para dinamizar o mercado sucroalcooleiro o governo federal outorgou alguns benefícios, entre eles; proporcionar incentivos financeiros, desoneração tributária e outros, já que a vertente hoje do setor sucroalcooleiro também pode ser sucroenergético, não produzindo apenas combustível ou açúcar como também energia elétrica de forma altamente rentável (TURDERA, 2015).

Devido ao momento econômico desfavorável vivenciado no país, por conta das crises política e econômica, os produtores de vários estados, inclusive do Mato Grosso do Sul, têm sido impactados fortemente pela retração econômica, primeiro na

arena internacional e agora nacional, gerando externalidades sociais negativas como a demissão de vários funcionários, causando outros agravantes no setor econômico do país (UDOP, 2015).

A economia e os preços do setor sucroalcooleiro se comportam de forma sazonal e dependem das condições do setor petróleo (VIEGAS, 2013).

No entanto, o governo federal tem tomado medidas para auxiliar o mercado do etanol, entre elas o aumento da proporção de etanol anidro na gasolina C, que passou de 25% para 27%, e a volta da Cide (Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico) incidindo sobre o preço da gasolina C. Tais ações que podem impactar no preço do etanol e também acarretar um maior uso do combustível (Bacchi, 2015).

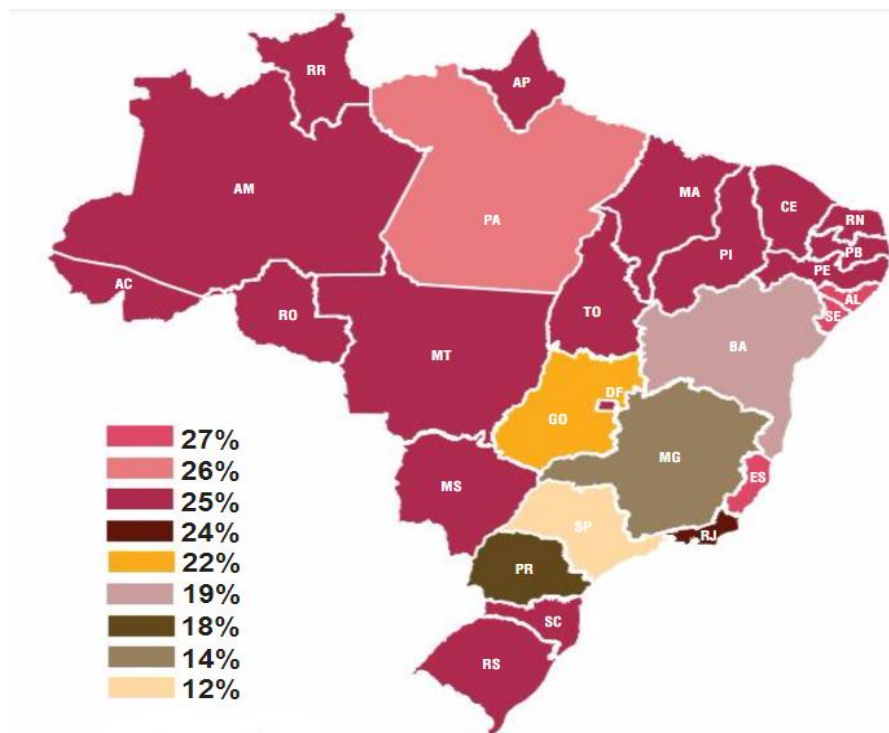
Os preços do etanol hidratado e anidro estão relacionados ao produtor, em função da legislação vigente para a comercialização do combustível. A Resolução ANP nº 67/2011, posteriormente substituída pela Resolução ANP nº 05/2013, levou o mercado de anidro a operar, em grande parte, através de contratos. Nesses acordos, a cláusula referente à precificação do produto a ser comercializado ao longo do ano-safra estabelece como referência o preço vigente no mercado *spot* do hidratado, somando-se a ele um valor devido à diferença de padrão (Bacchi, 2015).

O Mato Grosso do Sul é um Estado que é capaz de produzir bioetanol em escala maior que o seu consumo doméstico, deveria apresentar um dos preços do mais país, algo que não é encontrado na realidade. Um fator que contribui muito para isso é a formação de “carteis” no estado, onde os empresários do setor (donos dos postos de gasolina e os distribuidores) entram em um acordo em relação ao preço (que melhor convém a eles), e o mantém alto, não propiciando competitividade do etanol no mercado.

Outro fator que interfere na cadeia do preço do etanol é a cobrança de cargas tributárias sobre o biocombustível, sendo as cargas federais cobradas nas mesmas porcentagens a todos os estados, porém existem cargas tributárias estaduais que são as alíquotas do ICMS, cobradas em cada estado em porcentagem diferente contribuindo assim para que ocorra uma variação no preço final do combustível (ver fig. 2). No mapa do mapa do Brasil é mostrada a taxa de ICMS cobrada por cada estado apresentando dados de 2016, pode observar-se que grande parte dos estados

cobra um percentual de 25%, donde o estado de São Paulo, se destaca como o maior produtor do biocombustível, com uma percentagem de 12%, tornando-se um exemplo a ser seguido por outros que desejam se destacar como produtores do bioetanol, como os estados de Minas Gerais e Paraná seguindo este caminho, com percentagem de 14% e 18%, respectivamente.

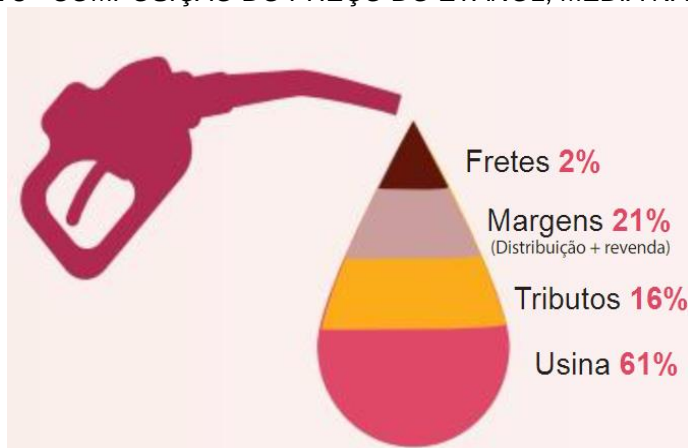
FIGURA 2 - MAPA NACIONAL COM A DISTRIBUIÇÃO DAS ALÍQUOTAS DE ICMS.



(Fecombustíveis, 2016.)

No entanto, o preço do etanol não é formado apenas pelos tributos governamentais cobrados, mas também pelo custo de produção (realização nas Usinas), de Transporte (Frete) e das Margens de lucro dos agentes participantes do mercado do bioetanol (ver fig. 3). A composição média do preço do etanol é composta pelo custo de realização do etanol nas usinas (61%), pelos tributos federais e municipais (16%), pelas margens de lucro dos agentes da cadeia de valor (21%) e, finalmente pelo frete de transporte (2%).

FIGURA 3 - COMPOSIÇÃO DO PREÇO DO ETANOL, MÉDIA NACIONAL.



(Fecombustíveis, 2016.)

No ano de 2015, após 40 anos do Proálcool, o mercado do bioetanol teve o que comemorar, atingindo a produção 17,9 milhões de m³ no ano, um aumento de 37,5% na comparação ao ano anterior. Este resultado grandioso é atribuído ao aumento do preço da gasolina em função dos impostos federais e estaduais. Este aumento no preço da gasolina, fez com que o combustível se torna-se pouco atrativo ao consumidor, que optou pelo etanol, gerando assim esse aumento de produção recorde no ano de 2015.

No início do ano o governo anunciou um pacote de medidas, que implementou reajuste das alíquotas de PIS/Confis dos combustíveis fósseis, e o 1º de maio o governo voltou à cobrança do CIDE sobre a gasolina. Com esse pacote tributário feito para “contra restar” a crise econômica, o preço da gasolina está pouco atrativo e como consequência, o consumo de etanol aumentou. (FECOMBUSTÍVEIS, 2016).

Mesmo com perspectivas tão boas, as incertezas do setor sucroenergético continuam as mesmas e colocam em xeque uma possível ampliação da participação do bioetanol na matriz de combustíveis brasileira. Ainda não existe uma política de longo prazo que dê uma previsibilidade aos investimentos, faltando regras estáveis e previsíveis para o mercado se desenvolver, como consequência disso atenuam o risco cobrando um preço abusivo, visto que a demanda é resistente.

1.6. A POLÍTICA REGULATÓRIA DO MERCADO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS.

O Brasil é um país que tem se destacado ao longo dos anos no âmbito da produção de biocombustíveis. Entre os biocombustíveis que possuem maior produção no país se destacam o bioetanol e biodiesel, em favor desses biocombustíveis foram

sancionadas leis e políticas as quais visam melhorar as condições de produção e gerando um aumento no consumo. Entre as políticas voltadas para esses biocombustíveis se destacam a criação do Proálcool em 1975, e também o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), em 2005.

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), instituído no decreto Nº 76.593 de 14 de novembro de 1975, pelo então presidente Ernesto Geisel, após inúmeras reuniões e discussões sobre o setor. A utilização de álcool da cana-de-açúcar era conhecida há muito tempo, e embora tenha sido testada em vários momentos, a disponibilidade dos derivados de petróleo e seus preços relativamente baixos, influenciavam a desestimulação da produção do bioetanol. Porém em Outubro de 1973, o cenário mudou de forma drástica com a o primeiro choque de petróleo, abrindo assim um horizonte de possibilidades para a utilização de biomassa como fonte alternativa na produção de energia. Então, frente a esta possibilidade o governo criou o documento “fotossíntese”, do qual pode ser denominada a semente do Proálcool, em 1974. (SILVA & SAKATSUME, 2007)

O Proálcool se efetivou em setembro de 1975, fundado em um relatório da Secretária de Tecnologia Industrial (STI) do Ministério da Indústria e Comércio, que apresentou Bioetanol como combustível. Foram enfatizadas as vantagens das características exponenciais da exploração da cana de açúcar como matéria prima e se expandindo estudos para a exploração de outras fontes, como a mandioca, por razões políticas. O Proálcool apresenta duas fases bem definidas. A primeira, começando com a implementação e utilização do bioetanol como aditivo à gasolina, e a segunda fase, começando no ano de 1979, utilizando o E100, ou seja, o bioetanol puro, realmente como combustível automobilístico em substituição á gasolina.

A política voltada ao Proálcool, determinando inúmeros incentivos, foi uma ação fundamental ao sucesso do programa, que chegou a apresentar um consumo de bioetanol hidratado e anidro de quase 50% do consumo da gasolina em 1989 devido à grande frota de veículos movidos somente a bioetanol hidratado.

Com esta política importante para o setor, o bioetanol cresceu, passou por fases de crise e outras de ascensão. Essa política foi moldada por inúmeras leis e diretrizes, dentre elas podem ser citadas a resolução da ANP nº19/2015, com o objetivo de evitar a conhecida fraude do “álcool molhado”, que determina que o

bioetanol anidro deve receber corantes laranja, e deve ser adquirido apenas pelos agentes regulados e registrados na ANP, para garantir assim o teor de pureza e normas de comercialização. Outro programa que possui normas em relação ao bioetanol é o Programa de controle de poluição do ar por veículos automotores (Proconve), que avalia o consumo e as emissões veiculares, e demonstrou que o uso do bioetanol como combustível reduz a emissão de gases de efeito estufa.

Existe também a Resolução ANP nº 23/2010 que é o regulamento que especifica as atribuições do bioetanol como combustível.

Com relação às políticas do biodiesel, houve a criação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), em 13 de janeiro de 2005, pela lei 11.097, que tem por objetivo introduzir o uso de biodiesel na matriz energética. Para ocorrer o desejado na primeira fase do programa, foi estabelecida uma mistura de 2% de biodiesel no diesel. Este percentual não foi modificado até o ano de 2008, somado ao fato que muitos *blenders* não cumpriram a tarefa de mesclar conforme o valor estipulado pelo programa, assim, no ano de 2007 ocorreu a obrigatoriedade da mistura, que se deu pelo artigo 2º da lei nº 11.095/2005, dessa forma, em janeiro de 2008 entrou em vigor a obrigatoriedade da mistura, denominada B2, em todo o país. Com a perspectiva de aumentar o uso do biodiesel houve uma evolução da percentagem até o ano de 2014, que atingiu em Novembro de 2014 seu auge de 7%. Após dois anos se mantendo sem mudanças a taxa de mistura, ocorreu então a alteração na lei nº13.033/2014 para a lei nº13.263/2016, que determina um cronograma de aumento da taxa de mistura do biodiesel no diesel, dos atuais 8% ir crescendo gradativamente até atingir os 10% em 2019. (ANP, 2017).

1.7. CONCLUSÃO.

Os biocombustíveis apresentam-se como uma das melhores respostas dos últimos tempos para garantir o suprimento energético, sem que crises de combustíveis deixem nações à mercê do suprimento dos combustíveis fósseis. O capítulo apresentou como o setor dos biocombustíveis está crescendo no Brasil e no Mundo, e como é importante que existam políticas voltadas para estas incentivarem o uso de fontes renováveis. A pesquisa neste setor deve ser constante para acompanhar o crescimento e desenvolver novas tecnologias que sejam capazes de cada vez melhorar os equipamentos que usem biocombustíveis, no entanto, se não

tiver uma política energética propícia à utilização de biocombustíveis o setor está fadado ao fracasso, podendo comprometer o futuro do suprimento energético.

2. APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO PARA O TRANSPORTE DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

2.1. PESQUISA OPERACIONAL E PROGRAMAÇÃO LINEAR (PL)

A pesquisa operacional foi o nome dado ao conjunto de processos e métodos de análise desenvolvidos por grupos acadêmicos que assessoraram as forças militares durante o período da Segunda Guerra Mundial. Esses grupos foram iniciados na Inglaterra¹, e tinham por objetivo tomar decisões sobre os problemas da rotina bélica, que dentre eles eram: uso de canhões antiaéreos, emprego eficiente do radar, táticas de bombardeiros, entre outros problemas bélicos que eram encontrados no período da guerra. O primeiro grupo constituído era formado por¹ dois matemáticos, dois físico-matemáticos, três fisiologistas, um agrimensor e um astrofísico. O grande sucesso desde grupos deveu-se mais em suas habilidades de coleta de dados e informações para realização de análises do que, propriamente, a utilização de técnicas especializadas. Com o fim da guerra, estes métodos de análise foram aprimorados e reutilizados para melhorar os vetores do setor civil. (TAHA, 2008; PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

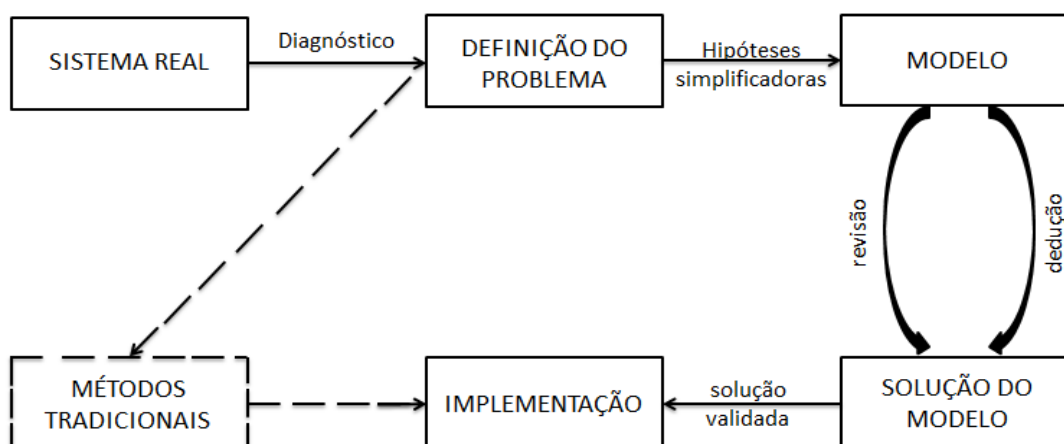
O fato que consagrou a pesquisa operacional foi à publicação por parte de G. Dantzig, no ano de 1947, sobre o método Simplex no uso na programação linear. Devido a isto a programação linear se tornou a primeira técnica explícita, e permanece até os dias atuais como a técnica mais básica e útil entre todas as técnicas de pesquisa operacional. (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

Quando são tratados problemas de pesquisa operacional é de essencial importância conhecer o conceito de modelos, os quais são utilizados para formular uma idealização, ou seja, uma visão simplificada da realidade, que pode ser tratada para encontrar soluções possíveis ao problema estudado. Partindo do princípio da idealização, o modelo trabalha com símbolos matemáticos que representa as variáveis de decisões. Através destas variáveis é possível fazer uma relação por meio de funções matemáticas que são capazes de expressar o funcionamento do sistema. Com esse conceito é possível extrair uma solução, que tem por objetivo encontrar os valores adequados para as variáveis estudadas, de tal forma que otimizem o sistema

¹ Na Inglaterra o grupo de pesquisas era liderada por Alan Turing, conhecido como o pai da computação.

como um todo. Dentre as variáveis citadas, devem ser consideradas as alternativas de decisões que podem ser executadas, as restrições do problema a ser resolvido e também o critério objetivo estabelecido. Uma solução viável a um modelo é aquela que satisfaz todas as restrições. Porém uma solução ótima é aquela que além de satisfazer todas as restrições, tornando a solução viável, é também o melhor valor máximo ou mínimo da sua função objetivo.

FIGURA 4 - DIAGRAMA DAS ATIVIDADES BÁSICAS DA PESQUISA OPERACIONAL



(PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

O diagrama acima descreve as atividades básicas da pesquisa operacional (PO), que parte de um sistema real, e como o conceito de modelos que foi definindo anteriormente é necessário ter a percepção que em um sistema real existem alguns aspectos que exigem modificações em sua forma de gerenciamento, que então é levado à definição do problema. Com o problema definido, podem-se utilizar hipóteses simplificadoras que estabelecem as variáveis de decisões e quais são as restrições do sistema, obtendo assim um modelo matemático. Após conseguir uma solução para o modelo, esta deve passar por avaliações e críticas que leva, eventualmente, a revisões das hipóteses da solução, ou do modelo em si. O processo de revisão é efetuado inúmeras vezes até que a solução seja considerada válida, podendo assim passar para a fase de implementação. A linha tracejada do diagrama indica outro meio de resolver o problema. (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

A modelagem em PO (pesquisa operacional) é uma busca por uma solução ótima de um criterioso objetivo específico que está sujeito a um conjunto de

restrições, porém qualidade de solução obtida dependerá do quanto o modelo representará o problema real. (TAHA, 2008).

No estudo da PO, após modelar o problema tem-se uma variedade de técnicas que podem resolver os modelos matemáticos, e a complexidade e o tipo do modelo matemático aplicado ao problema é que define a natureza da solução que será aplicada.

A técnica mais utilizada, como já citada, é a programação linear, que pode ser aplicada a um modelo cuja função objetivo e as restrições do problema são lineares. Existem outras técnicas, como a programação dinâmica, esta técnica consiste na decomposição do modelo original em subproblemas mais fáceis de resolução, a programação inteira, onde as variáveis aplicadas assumem valores inteiros, a otimização em redes, quando o problema permite a modelagem como uma rede, e a programação não linear, neste caso quando as funções objetivo e restrições não apresentar um perfil linear. Estes são alguns exemplos de técnicas em PO disponíveis. Uma particularidade da maioria das técnicas utilizadas em PO é que a solução que é encontrada não tem um formato fechado, como uma fórmula exata. Pelo contrário são utilizados algoritmos, que fornecem cálculos que são aplicados diversas vezes ao problema, cada repetição é denominada de iteração, e conforme as iterações ocorrem, ficam mais próximas de uma solução ótima. Porém devido aos cálculos nos processos das iterações tendem a ser cansativo e entediante o que pode levar ao erro no processo, é iminente que esses algoritmos sejam executados por ferramentas digitais, como computadores. Alguns modelos são tão complexos que nenhuma das técnicas é capaz de obter deles uma solução ótima, nestes casos é melhor abandonar a ideia de conseguir uma solução ótima e procurar obter apenas uma boa solução utilizando heurísticas ou regras práticas. (TAHA, 2008).

Um dos aspectos relevantes da modelagem no estudo da PO, é que encontrado um bom modelo para determinado problema, este pode ser aplicado permanentemente para avaliar variações e a evolução do sistema que foi aplicado. Ressaltando sempre que os modelos não são representantes completos e plenos da realidade, no entanto, trabalham com aspectos essenciais determinados pelo especialista. (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

Embora se tenha o pensamento que todo estudo de PO esteja relacionado com as análises matemáticas, que é a pedra fundamental da PO, algumas abordagens mais simples podem ser exploradas, no início da formulação do problema, como a utilização do bom senso em pequenas observações. Como também problemas que envolvem o comportamento humano, realizam a análise do perfil psicológico da pessoa e outras analisem que tenha um método de observação simplificado, que consiste em corrigir atitudes pessoais, que podem resultar em uma solução. (TAHA, 2008).

Um ponto de extrema relevância sobre o estudo da PO, é que envolvem altos custos, por causa de toda a equipe qualificada, equipamentos, licenças de *software*. Por isso ocorre numa limitação para que os estudos sejam realizados por completo somente quando o benefício será significativo. No entanto podem ser aplicadas as técnicas mencionadas, que apresenta um custo menor, devido à simplicidade do emprego de um algoritmo, e por existirem programas de baixo custo que rodam estas técnicas. (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

2.1.1. Modelagem através da programação linear

Na modelagem de programação linear (PL), existem algumas características:

- Uma função linear das variáveis que servirá como o critério de escolha das variáveis de decisão. É denominada função objetivo e sua solução deve ser otimizada, dependendo do que o modelo exigir, maximizar ou minimizar;
- Há relações de interdependência entre as variáveis de decisões, e são expressas através de um conjunto de equações e/ou inequações lineares. Esta característica é denominada de restrições;
- Outra característica dos modelos em PL é que as variáveis de decisões sempre se apresentam na forma de não negativas, então sempre serão maiores ou iguais a zero.

O modelo matemático geral de PL está mostrado abaixo. Sendo que as variações do modelo geral têm por objetivo maximizar ou minimizar Z e apresentar nas restrições os sinais “=” ou “ $\geq$ ” e “ $\leq$ ”.

$$\text{Máx } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \text{ sujeito a}$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

e

$$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0, \quad \dots, \quad x_n \geq 0.$$

Modelo (1) (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

Outra forma de escrever este modelo é da forma matricial, através da utilização de vetores. Que é representado por:

$$\text{Máx } Z = cx,$$

$$\text{sujeito a:} \quad Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

Onde a A ($m \times n$) é denominada matriz dos conjuntos tecnológicos, x ($n \times 1$) e b ($m \times 1$) são os vetores coluna que reúnem as variáveis do problema e os recursos disponíveis, respectivamente, e c ($1 \times n$) é um vetor linha dos lucros ou custos unitários do problema.

Um modo de esclarecer o entendimento das variáveis é associar o modelo a uma empresa que tem m recursos disponíveis para fabricar n produtos distintos. Então, os produtos são $j = 1, 2, \dots, n$ e os recursos $i = 1, 2, \dots, m$, tem-se:

x_j = nível de produção do produto ou atividade exercida pela empresa.

Estas são variáveis de decisão e são as incógnitas do problema

c_j = Lucro unitário do produto j .

b_i = Quantidade disponível do recurso i .

a_{ij} = Coeficiente do arco.

A função objetivo a ser otimizada, quer para maximizar o lucro total da empresa nas n atividades realizadas quer para minimizar o uso de algum recurso.

As m restrições tem por objetivo informar que o total gasto do recurso i , nas n atividades, tem que ser menor ou, no máximo, igual à quantidade b_i disponível daquele recurso.

As restrições $x_j \geq 0$ ($j = 1, 2, \dots, n$) indicam que o nível de produção de cada produto não pode ser negativo, no máximo pode assumir valor nulo. (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

Conhecendo a modelagem aplicada a PL, convém ressaltar que existem algumas hipóteses e propriedades que servem para limitar a utilização da PL. Das quais, são:

- Coeficientes, constantes ou certeza: No estudo de PL são utilizados coeficientes a_{ij} , b_i e c_j , que compõem a função objetivo e as restrições do modelo, que são constantes conhecidas, porém isso é um caso raro de ocorrer para a aplicação, pois geralmente estes dados são distribuições de probabilidades. Logo são atribuídos erros, e desvios padrões para estabelecer uma precisão do modelo.
- Aditividade: Esta propriedade consiste em estabelecer que as contribuições de todas as atividades realizadas pela empresa representarão a soma de todas as atividades individuais. Porém esta propriedade restringe o modelo a PL fechados, não levando em conta o mercado, variação do fator humano e outros, que podem variar a produtividade de uma variável presente no modelo.
- Proporcionalidade: É estabelecido que para cada atividade tivesse um lucro unitário para uma produção de um produto unitário com um custo unitário, mas essa propriedade também não leva em conta as questões de mercado, e também as economias obtidas por produção em escala e outros fatores. (TAHA, 2008; PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

2.2. MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO APLICADOS AOS PROBLEMAS DE TRANSPORTE (PTRAN)

A modelagem em problemas de transporte (PTRAN) tem por objetivo minimizar o custo total de transporte para abastecer n centros consumidores (destinos) a partir de m centros fornecedores (origens). A disponibilidade da oferta em cada origem é assumida como uma variável de cada ponto de origem, como: $b_1, b_2, \dots, b_m$. E a quantidade que necessita cada destino, também denominada demanda, são: $d_1, d_2, \dots, d_n$. Sendo que o custo unitário de transporte entre a origem i e o destino j é representada por c_{ij} . Para finalizar as variáveis do modelo, falta determinar a quantidade transportada entre a origem i e o destino j , que pode ser representada por x_{ij} . (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988). Com as variáveis estabelecidas o modelo fica do seguinte modo:

$$\begin{aligned} \text{Min. } Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad \text{sujeito a} \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= d_i \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

e

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

No modelo descrito acima pode observar-se que as restrições e os coeficientes das variáveis são iguais a um. Logo, ao se somar as m restrições de oferta:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{i=1}^m b_i$$

Se somar as n restrições de demanda:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{j=1}^m d_j$$

Se relacionar as duas últimas equações, obtém-se:

$$\sum_{i=1}^m d_i = \sum_{j=1}^m b_j$$

O que indica neste modelo de transporte que existe uma igualdade entre oferta e demanda. (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

O modelo do transporte é um modelo de PL, e devido às peculiaridades no modelo é utilizado um algoritmo especial para determinar uma solução, este tipo de algoritmo é nomeado de algoritmo de transporte. (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

Na aplicação do algoritmo de transporte são utilizados quadros, sendo um para representar as restrições do modelo, que nos casos de PTRAN são as distâncias entre os arcos, como este quadro abaixo:

QUADRO 2 – QUADRO DE MODELO DAS RESTRIÇÕES (DISTÂNCIAS)

Origens \ Destinos	1	2	...	n	Oferta
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}	b_1
2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}	b_2
...	...	...	...	...	...
M	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}	b_m
Demanda	d_1	d_2	...	d_n	

(PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

Outro quadro que também é utilizado é o custo do problema de transporte:

QUADRO 3 – QUADRO DE CUSTO DO PROBLEMA DE TRANSPORTE

Origens \ Destinos	1	2	...	N	Oferta
1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1n}	b_1
2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2n}	b_2
...	...	...	...	...	...
M	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}	b_m
Demanda	d_1	d_2	...	d_n	

(PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

A estes quadros são atribuídos nomes, do qual o primeiro é denominado quadro de soluções e o segundo quadro de custo. (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

Porém, antes de entrar nos métodos de soluções para este algoritmo, é importante que exista outra forma de apresentar o modelo:

$$\begin{aligned}
 \text{Min. } Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad \text{sujeito a} \\
 \sum_{i=1}^m x_{ij} &\leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\
 \sum_{j=1}^n x_{ij} &\geq d_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)
 \end{aligned}$$

e

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

Neste modelo as restrições são interpretadas do seguinte modo, a primeira restrição é a quantidade transportada da origem i , distribuída para todos os destinos possíveis, deve ser menor ou igual à quantidade disponível; na segunda restrição a quantidade recebida pelo destino j , é recebida de todas as possíveis origens, deve ser igual ou maior à quantidade necessária. (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

Se realizar o mesmo procedimento que foi realizado no primeiro modelo, da soma das restrições e compará-las, obtém-se:

$$\sum_{j=1}^n d_j \leq \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq \sum_{i=1}^m b_i$$

A equação significa que a oferta total do produto é maior ou igual à demanda total.

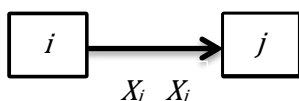
Como se exige que a igualdade entre oferta e demanda seja respeitada, para resolver o problema neste caso, uma solução plausível para adequar o problema real ao modelo de igualdade seria a criação de um consumidor fictício, do qual a demanda é exatamente este excedente entre oferta e demanda que armazenaria o produto, mas o custo de transporte para este consumidor fictício é zero. Também existe o caso onde a demanda é maior que oferta, do qual é necessário encontrar o custo marginal para aumento à produção, analisando os custos se seria viável a troca de produtos ou investir na produção do mesmo. (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

Após conhecer qual é o modelo em que problema se aplica é necessário obter a solução deste modelo, para isso são utilizados vários métodos. Nos próximos pontos deste capítulo serão apresentados esses métodos.

2.2.1. Grafos Generalizados (GG)

Nos modelos anteriores mostrados foram destacados centros de consumos (destinos) e centros de produção (origem), que podem ser denominados nós. No método de Grafos Generalizados (GG) utilizou-se estes nós para a criação de arcos, ou seja, caminhos ou conexões entre os nós, que determinar fluxos de transporte que utilizados geram a solução do PTRAN. Logo, GG é um método para determinar uma solução derivada da programação linear, sendo que a principal característica do método a representação dos nós origens e destinos através de arcos multiplicadores. (TURDERA, 1993). Dentro da metodologia de grafos, estes podem ser definidos como grafos conservativos e grafos generalizados.

Segundo descrito por Turdera (1993), a estrutura dos grafos generalizados permite considerar ligações entre as fontes e os destinos através de arcos onde o fluxo não se conserva necessariamente. Este fato amplia o campo de aplicação em sistemas reais. No método de grafos generalizados, tem a incorporação de um multiplicador além da identificação dos nós origens e destinos. Esse multiplicador é o que define o ganho de fluxo ao longo do arco. O comportamento do arco generalizado é indicado abaixo, onde $x_j = \omega x_i$ esta equação significa que cada unidade de fluxo que deixa um nó origem (i), corresponde ω unidades de fluxo a um nó destino (j).



Devido aos multiplicadores nos arcos, a matriz de incidência nó-arco é diferente da matriz de grafo conservativo. Na matriz cada coluna da matriz poderá ter no máximo dois elementos não nulos, um deles valendo 1 e o outro $-\omega$. Os problemas formulados consideram limites máximos e mínimos para o fluxo escoado nos arcos, originando modelos capacitados. A solução do algoritmo é obtida através da aplicação do método Simplex com auxílio de uma linguagem computacional. (TURDERA, 1993).

2.2.2. Regra do Canto Noroeste

Este método consiste em uma regra que é aplicada ao quadro de custos seguindo estes passos:

- 1) Inicie pela célula superior esquerda do quadro, ou seja, pelo Canto Noroeste;
- 2) Aloque nesta célula a maior quantidade permitida pela oferta e demanda correspondente;
- 3) Atualize os valores da oferta e da demanda que foram retirados no passo (2);
- 4) Caso tenha oferta restante, continue na célula a direita, voltando ao passo (2).

No entanto se não tiver mais oferta nesta linha, cancele a linha, passe para a célula de baixo e volte ao passo (2). O mesmo ocorre no caso de ter suprido a demanda.

Continue o processo até que todas as restrições do quadro sejam satisfeita, ou seja, que toda a demanda seja suprida, e oferta distribuída. Será concluído quando a célula inferior da direita do quadro de custos seja preenchida. (PUCCINI & PIZZOLATO, 1988).

Quando aplicada a regra do Canto Noroeste a solução obtida não leva em conta o custo unitário do transporte, apenas depende da oferta e da demanda das origens e destinos.

2.2.3. Método do Custo Mínimo (CM)

Este método, ao contrário da regra do Canto Noroeste, fornece uma solução que além de depender da oferta e da demanda também leva em conta os custos de transporte. Por este motivo, o método apresenta uma solução inicial mais próxima à solução ótima do que a aquela fornecida pelo método da regra do Canto Noroeste.

Para a aplicação do método de Custo Mínimo (CM), devem ser seguidos os seguintes passos no quadro de custos:

- 1) Encontre no quadro de custo o menor c_{ij} que tenha oferta e demanda não nula;

- 2) Após encontrar a célula que possui o menor custo, aloque na célula correspondente no quadro de soluções a maior quantidade permitida pela oferta e demanda do problema;
- 3) Atualize os valores da oferta e da demanda que foram alterados no passo (2) e volte para o passo (1).

O processo é repetido até que sejam supridas todas as demandas e esgotadas todas as ofertas.

2.2.3. Método Vogel (MV)

O método Vogel (MV) também utiliza os custos de transporte, ofertas e demandas do problema. Sendo conhecido por alguns como uma versão melhorada da abordagem do Custo Mínimo. O que difere o MV do CM, é que ao invés do método MV procurar o coeficiente que apresenta o menor custo como a abordagem do CM, o MV tem por prioridade localizar entre as linhas e colunas os dois menores coeficientes de custo, e realizar a diferença entre eles, para a aplicação do método. Logo, no processo ocorre a utilização dos dois menores custos, em conjunto. Então este motivo vem a tornar o MV bastante eficiente.

Na aplicação no MV são seguidos os seguintes passos:

- 1) Em cada uma das linhas do quadro, localize os dois menores custos, e faça a diferença entre o menor valor e do segundo menor valor;
- 2) Em cada uma das colunas do quadro, localize os dois menores custos, e faça a diferença entre o menor valor e do segundo menor valor;
- 3) Após realizar os passos (1) e (2), encontre entre a linha e coluna correspondente à maior diferença e selecione a célula de menor custo e aloque nela a maior quantidade permitida pela oferta e demanda;
- 4) Atualize os valores de demanda e oferta que foram alterados no passo (3). Caso tenha zerado a oferta, cancele a linha e volte ao passo (1). E caso tenha zerado a demanda, cancele a coluna e volte ao passo (1). E depois para o passo (3).

O processo se conclui quando todas as ofertas e demandas são esgotadas e supridas.

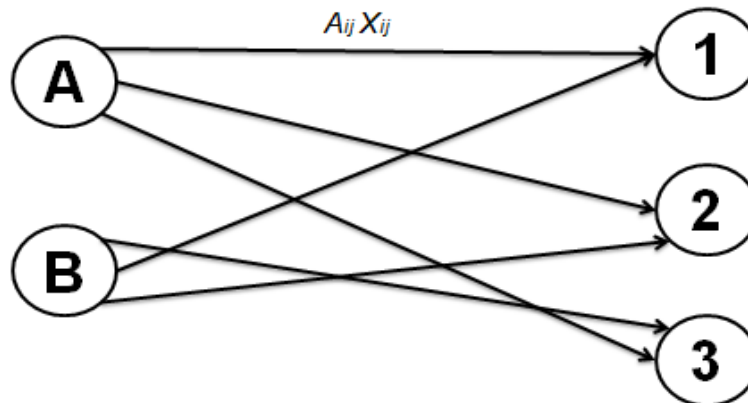
3. ESTUDO DE CASO: A OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DO BIOETANOL NO MATO GROSSO DO SUL MEDIANTE O USO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

O estudo de otimização do transporte do etanol no Mato Grosso do Sul (MS) é feito pelo uso de duas abordagens teóricas citadas no Capítulo 2. Dentre as várias abordagens da PL que podem ser aplicadas ao caso de PTRAN, as escolhidas para o problema de transporte são o Método de Vogel (MV) e a análise de Custo Mínimo (CM). Os dois métodos citados compartilham de uma mesma síntese primária, sendo assim são necessárias às mesmas variáveis (X_{ij}), que trata sobre o escoamento de uma mercadoria ou bem, desde os nós origem i , para os nós destino j . Englobando esses conceitos ao projeto define-se que os nós origens são as usinas e os nós destinos são as cidades. A análise consiste em determinar o planejamento que minimize o custo total da expedição de etanol que satisfaça os requerimentos de fornecimento e demanda. Neste estudo os dados que devem ser conhecidos são: a produção de etanol das usinas, a demanda nas cidades, a quilometragem dos arcos/estradas da malha rodoviária do MS.

3.1. ADAPTAÇÃO DE UM PL PARA A LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO DO BIOETANOL

Com o objetivo de criar uma adaptação de PL, que utiliza a metodologia de MV e CM que se baseia em conceitos da álgebra linear, mais explicitamente na teoria de matrizes (TAHA, 2008, PUCCINI & PIZZOLATO, 1989), inicialmente se deve fazer a modelagem da rede, onde se identifica os nós origens e os nós destino e os arcos que ligam os nós, que são os modais rodoviários, o propósito é otimizar o fluxo na rede. O modelo elaborado lineariza as variáveis de tal forma que se enquadre dentro dos propósitos da PL para, posteriormente, executar o problema modelado afim de obter uma solução otimizada com uma boa difusão. Esta solução fornecerá como resultado o roteiro ótimo que deve adotar o fluxo veicular de transporte de etanol. Os resultados são bastante completos, pois além de gerar valores ótimos das variáveis de decisão também fornece o custo marginal de cada uma das variáveis, que são nada menos que o fluxo veicular nos arcos, o que significa conhecer os custos incrementais do transporte. A modelagem do problema da logística do transporte do etanol se enquadra dentro da problemática da PO e PL, e é aplicada a Teoria de Grafos. Esquemáticamente uma rede pode ser representada por grafos da seguinte forma.

FIGURA 5 – ESQUEMA DE REDE DE GRAFOS DO PROBLEMA ESTUDADO
 Nós origem (usinas) Nós destinos (centros de demanda)



Elaboração própria.

O coeficiente C_{ij} é o custo associado ao transporte do nó origem i ao nó destino j , e X_{ij} é a quantidade transportada de etanol do nó origem A ao nó destino 1 na figura esta A. Os coeficientes dos arcos a_{ij} na nomenclatura da adaptação podem representar as estradas que unem os nós de origem com os nós destino. É fato que nem todos os nós estarão conectados, sendo assim, a matriz A formada pelos coeficientes a_{ij} será uma matriz esparsa, ou seja, muitos dos coeficientes da matriz serão zero. As variáveis de decisão respectivas X_{ij} formam a matriz de decisão, e sua forma canônica é representada.

$$\text{Min. } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij}$$

$$\text{Sujeito a} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} X_{ij} \leq g_i \quad \text{para todo nó } i$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} X_{ij} \geq p_i \quad \text{para todo nó } j$$

$$X_{ij} \geq 0$$

Onde g_i e p_j , representam respectivamente, a capacidade de produção de etanol da usina (nó origem) e a demanda de etanol requerida no centro de consumo (nó destino) e são ademais restrições explícitas do problema. O coeficiente a_{ij} dos arcos está associado à quilometragem, que faz uma relação proporcional da distância

entre cada nó oferta e cada nó demanda. O cálculo é completado quando a quantidade final de etanol transportada nos arcos, o coeficiente X_{ij} , é multiplicada pelo coeficiente que representa a distância entre os nós, a_{ij} .

3.2. PERFIL DA CADEIA DE DISTRIBUIÇÃO DO BIOETANOL NO MS

O estado do Mato Grosso do Sul (MS) possui várias unidades produtoras do combustível etanol, tendo em vista a distribuição do etanol se realizou o estudo de otimização da distribuição do combustível no Estado. Para tal, é necessário conhecer o perfil da cadeia de distribuição do etanol. Esse perfil é composto de 21 unidades produtoras espalhadas pelo estado, e 78 centros que consomem bioetanol.

Para melhorar o entendimento sobre o perfil de distribuição e a visualização dos resultados, foi adotada uma nomenclatura específica para as variáveis e de acordo com o seguinte formato X_{A1} que determina o fluxo nos arcos (estradas). No caso específico, A é o nó origem, usinas produtoras de etanol, e 1 é o nó destino que representa o centro consumidor. Neste caso em particular a leitura de X_{A1} seria entendida desta forma: quantidade transportada de etanol da usina Alcoolvale (A) até o centro da demanda de Campo Grande (1) e cidades vizinhas. A função objetivo é definida como minimizar os custos do fluxo de etanol ou da distribuição de etanol para atender toda a demanda no estado.

3.2.1. Produtores de Bioetanol

Para conhecer os produtores de bioetanol no estado do MS, foram realizadas pesquisas e averiguação de informações. Estas informações foram extraídas das seguintes fontes: União da Indústria da Cana de Açúcar (UNICA), União dos Produtores de Bioenergia (UDOP), Associação dos Produtores de Bioenergia de Mato Grosso do Sul (BioSul), e outros portais que são das próprias empresas sucroenergéticas. Com as pesquisas realizadas foram levantadas 21 unidades produtoras de bioetanol distribuídas no estado, no qual a maioria, exatamente 19 unidades estão localizadas na região Centro Sul. A tabela 1 exibe os municípios onde estão alocadas as 21 usinas produtoras de etanol, o nome da empresa e a capacidade de produção de etanol em metros cúbicos diários. Na figura 6 é possível ver onde está localizada cada unidade. A causa das unidades estarem em sua maioria localizadas na região Centro Sul do Estado se dá ao fato do estado do MS

possuir em seu território grande parte da região do Pantanal, situado mais ao norte e ao oeste do estado, e para a preservação desse bioma está proibida a construção de usinas sucroenergéticas nessa região.

TABELA 1 - USINAS SUCROENERGÉTICAS NO MATO GROSSO DO SUL.

USINA (ORIGEM)			
	MUNICÍPIO	NOME	PRODUÇÃO DIÁRIA (M³)
A	Aparecida do Taboado	Alcoolvale	230,14
B	Angélica	Adecoagro	320,55
C	Ivinhema	Adecoagro	854,79
D	Iguatemi	Centro Oeste Iguatemi	150,68
E	Deodápolis	ETH - Eldorado	246,58
F	Maracaju	Vista Alegre	263,01
G	Nova Alvorada do Sul	Santa Luiza I	1068,49
H	Naviraí	Usinaví	432,88
I	Vicentina	Vicentina	145,21
J	Nova Andradina	Tag Agrícola / Santa Helena	328,77
K	Bataiporã	Usina Laguna	2191,78
L	Dourados	Usina São Fernando	267,95
M	Ponta Porã	Bunge/Monte Verde	273,97
N	Nova Andradina	Cerona	328,77
O	Costa Rica	Costa Rica	958,90
P	Maracaju	Biosev	265,75
Q	Rio Brilhante-Maracaju	Biosev- Unidade Passa tempo	388,49
R	Rio Brilhante	Biosev	267,95
S	Anaurilândia	Aurora	234,79
T	Caarapó	Razen Caarapó	336,16
U	Fátima do Sul	Fátima do Sul Agro Energetica S/A	482,19

Elaboração própria.

FIGURA 6 - MAPA DO ESTADO DE MS COM A DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES PRODUTORAS, DE ACORDO COM A NOMENCLATURA DA TABELA 1.



Google, 2017; Elaboração própria.

3.2.2. Centros consumidores.

Outro dado importante é a demanda das cidades do estado de Mato Grosso do Sul (centros de consumo) que são receptoras do combustível etanol. Para obter esse dado, iniciou-se a pesquisa pela quantidade de veículos que utilizam etanol. Com esses dados, obtidos através do DENATRAN, onde existe todos os dados dos veículos existentes no Estado do Mato Grosso do Sul, através desde dados selecionamos os veículos que utilizam Bioetanol, então assim possível calcular qual é a demanda diária nas cidades, definindo um média de consumo para cada veículo.

Ressaltando que o estado de Mato Grosso do Sul conta com 78 municípios em toda sua extensão territorial e muitos deles têm demanda insignificante. Logo para sanar o problema com gastos exacerbados com transporte para demanda mínima, foi determinado um sistema de agrupamento próximo de um centro consumidor de relevância desses consumidores, para tal considerando-se um raio de até 70 km. Desta forma se elaborou a tabela 2, que ilustra os grupos de cidades e especifica às respectivas demandas. Sendo que as cidades destacadas em negrito em cada grupo

são as cidades polo, as quais serão a ponto de referência (nó destino) na elaboração da modelagem.

TABELA 2 - GRUPOS DE CIDADES COM SUAS RESPECTIVAS DEMANDAS

GRUPOS CIDADES					
1	Cidade	Campo Grande	17	Cidade	Anaurilândia
	Demanda (M³)	655,47		Demanda (M³)	3,76
2	Cidade	Aquidauana	18	Cidade	Bataguassu
	Demanda (M³)	31,21		Demanda (M³)	16,40
3	Cidade	Jardim	19	Cidade	Três Lagoas
	Demanda (M³)	32,73		Demanda (M³)	95,15
4	Cidade	Corumbá	20	Cidade	Ribas do Rio Pardo
	Demanda (M³)	42,85		Demanda (M³)	8,08
5	Cidade	Miranda	21	Cidade	Nova Alvorada do Sul
	Demanda (M³)	11,81		Demanda (M³)	26,77
6	Cidade	Porto Murtinho	22	Cidade	Sidrolândia
	Demanda (M³)	2,63		Demanda (M³)	16,39
7	Cidade	Bela Vista	23	Cidade	Maracaju
	Demanda (M³)	9,35		Demanda (M³)	19,18
8	Cidade	Ponta Porã	24	Cidade	Aparecida do Taboado
	Demanda (M³)	50,29		Demanda (M³)	48,48
9	Cidade	Mundo Novo	25	Cidade	Cassilândia
	Demanda (M³)	23,22		Demanda (M³)	15,18
10	Cidade	Amambaí	26	Cidade	Chapadão do Sul
	Demanda (M³)	20,27		Demanda (M³)	27,90
11	Cidade	Sete Quedas	27	Cidade	Água Clara
	Demanda (M³)	8,35		Demanda (M³)	6,92
12	Cidade	Naviraí	28	Cidade	São Gabriel do Oeste
	Demanda (M³)	39,48		Demanda (M³)	36,44
13	Cidade	Dourados	29	Cidade	Sonora
	Demanda (M³)	168,01		Demanda (M³)	5,95
14	Cidade	Ivinhema	30	Cidade	Coxim
	Demanda (M³)	23,25		Demanda (M³)	19,55
15	Cidade	Fatima do Sul	31	Cidade	Alcinópolis
	Demanda (M³)	27,77		Demanda (M³)	2,91
16	Cidade	Nova Andradina	32	Cidade	Ladário
	Demanda (M³)	31,13		Demanda (M³)	9,07

Elaboração própria.

Conhecidos os locais das unidades de origem bem como os centros (cidades) de consumo, sistematizam-se os dados em forma de nós origem e nós destinos já

referidos nas tabelas, é necessário conhecer suas respectivas distâncias. Para a elaboração da planilha de distâncias foi utilizado o aplicativo GOOGLE MAPS. Corriqueiramente foram respeitadas as distâncias oferecidas pelo aplicativo, salvo no caso de agrupamento de pequenas cidades, onde se considerou acréscimo de 40% desde a fonte de produção até a cidade principal do grupo para adequar as distâncias até as outras cidades que formam parte do grupo. Estes dados foram organizados conforme a nomenclatura já mencionada.

3.2.3. Agentes presentes na distribuição do bioetanol.

Com estes dados podem ser determinados os coeficientes a_{ij} que são a quilometragens e o X_{ij} que é as demandas das cidades já determinadas. Porém para concluir a modelagem do problema de transporte estudado, faltou determinar o coeficiente C_{ij} , fator de multiplicação que definirá o preço do transporte, que caracteriza as despesas presentes na distribuição do etanol, tais como custeio do frete do caminhão, despesas com salário de motoristas, e outros valores associados ao transporte. Segundo RODRIGUES (2007), o preço médio do transporte do etanol no Brasil é de 104,19 USD/1000ton.Km, para adequar este dado à matriz do problema sob estudo é necessário realizar algumas conversões para este dado resultar em um valor em R\$/m³.km, que é o coeficiente C_{ij} , responsável pelo preço da função objetivo do problema. Esta conversão foi realizada da seguinte forma:

$$C_{ij} = 104,19 \frac{USD}{1000ton.Km} * 789 \frac{kg}{m^3} * \frac{1ton}{1000kg} * 3,37 \frac{R\$}{USD} = 0,277 \frac{R\$}{m^3.km}$$

Onde:

- Densidade do etanol: 789 kg/m³;
- Câmbio de R\$ para USD: 3,33 R\$/USD;

3.3. ANÁLISE DO TRANSPORTE DE ETANOL PELOS MÉTODOS CUSTO MÍNIMO E VOGEL.

O levantamento dos dados, acima mencionados, necessários para a adaptação da PL ao PTRAN estudado. A sistematização, organização e adequação de todas essas variáveis de acordo com a nomenclatura estabelecida no início deste capítulo, possibilitou, então, a aplicação das metodologias MV e CM, visando-se

alcançar o objetivo de nosso estudo: minimizar os custos com o transporte do bioetanol no estado do MS.

3.3.1. Uso do método do Custo Mínimo.

No uso do método do CM, para auxiliar na aplicação da metodologia foi utilizada uma tabela do Pacote Office EXCEL, e de acordo com o seguinte exemplo: A cidade de Campo Grande (1) tem uma demanda de 655,47 m³/dia que deve ser suprida. A cidade (1) pode receber o combustível de todas as usinas sucroenergéticas, porém deve seguir o seguinte critério: selecionar o menor “arco distância”, ou seja, escolher o menor a_{ij} , assim a primeira escolha é a Usina Santa Luzia, alocada na cidade de Nova Alvorada do Sul (G), cuja relação distância de 161 km, sendo a melhor localizada, logo é selecionado o arco X_{G1} que irá resultar em custo após a multiplicação de todos os fatores (distância, demanda e preço do transporte) da matriz, resultam a R\$ 29.548,59/dia. O cálculo específico para esse arco é:

$$Min. z = 655,47 \frac{m^3}{dia} * 161 km * 0,277 \frac{R\$}{m^3 * km} = 29.232,00 \frac{R\$}{dia}$$

De forma semelhante são feitos os cálculos para todos os nós da nossa matriz. Caso a demanda não seja satisfeita se escolhe o próximo arco considerando sempre a menor distância entre a usina candidata e a cidade pólo focada. Seguindo o mesmo procedimento até que todas as demandas de todos os centros de consumo sejam atendida, caso existir oferta excedente, ela será destinada para a exportação, na sua maioria para o Estado de São Paulo, e também outros Estados que fazem divisa com MS ou, para países fora do continente.

Nas tabelas 4 a 8, são apresentados os resultados do cálculo de Custo Mínimo. Na tabela, as linhas que vão das letras **A...U** representam os nós origem (usinas) que foram definidas na tabela 1, e as colunas com os números de **1..32** correspondem aos nós destinos(cidades-pólo), que foram definidos na tabela 2, forma-se então a matriz do nosso problema de transporte , uma matriz (21x32). Porém, faltam as restrições a_{ij} que é um valor que inclui distâncias e serve para definir quais os arcos que serão selecionados e assim realizar o processo iterativo de CM. Recapitulando, nas colunas de **1..32** são criadas duas colunas em cada célula, sendo uma das colunas o

coeficiente a_{ij} e na outra coluna coloca-se o fluxo do arco, que é a distribuição da demanda a ser atendida, é o coeficiente X_{ij} . Logo é possível realizar o processo de CM, através da escolha do arco de menor custo, caso o nó origem atenda toda a demanda do nó destino é escolhido o próximo arco tenha a menor relação custo – distância, dessa forma o processo continua até que toda a demanda seja atendida. Portanto, com os coeficientes de distância-preço, diretamente ligados ao custo de transporte é possível se obter o Custo Mínimo desse transporte. (Tabela 3).

TABELA 3 - TABELA DEMOSTRANDO A ANÁLISE DO CM APLICADA AO PTRAN ESTUDADO.

	1				32	
	m³	Km	m³	Km	m³	Km
A	Coluna	Coluna				
B	para	das				
....	distribuição	distâncias				
U	das demandas					
Dem. Total	Demanda		a ser		atendida	
CM	CM obtido pela multiplicações dos coeficientes					

Elaboração própria.

TABELA 4 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO CUSTO MÍNIMO - CIDADES DE 1 A 7. (continua)

ANÁLISE CUSTO MÍNIMO														
	1		2		3		4		5		6		7	
	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km
A		639,80		835,80		981,40		1237,60		928,20		1227,80		1103,20
B		379,40		568,40		464,80		970,20		662,20		709,80		530,60
C		403,20		592,20		448,00		994,00		686,00		693,00		501,20
D		536,20		669,20		515,20		1024,80		715,40		761,60		568,40
E		369,60		557,20		394,80		959,00		595,00		641,20		449,40
F		219,80		271,60		166,60		669,20		361,20		413,00		288,40
G	655,47	161,00		348,60		329,00		751,80		442,40		575,40		450,80
H		501,20		592,20		481,60		991,20		681,80		1009,40		530,60
I		345,80		464,80		355,60		863,80		554,40		600,60		415,80
J		415,80		603,40		579,60		1006,60		697,20		826,00		582,40
K		431,20		618,80		595,00		1022,00		712,60		841,40		593,60
L		319,20		400,40		289,80		798,00		490,00		534,80		337,40
M		438,20		462,00		249,20		861,00		551,60		543,20	9,35	183,40
N		415,80		603,40		579,60		1006,60		697,20		826,00		582,40
O		470,40		662,20		812,00		1064,00		756,00		1058,40		933,80
P		219,80		271,60		166,60		669,20	11,81	361,20		413,00		288,40
Q		218,40	31,21	270,20	32,73	165,20	42,85	667,80		359,80	2,63	411,60		280,00
R		225,40				379,40			268,80			778,40		469,00
S		513,80		702,80		677,60		1104,60		796,60		924,00		683,20
T		382,20		473,20		362,60		870,80		562,80		607,60		411,60
U		334,60		453,60		343,00		852,60		543,20		589,40		403,20
Dem. Total	655,47		31,21		32,73		42,85		11,81		2,63		9,35	
CM	R\$ 29.232,00		R\$ 2335,92		R\$ 1497,74		R\$ 7926,42		R\$ 1181,62		R\$ 299,85		R\$ 475,00	

TABELA 5 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO CUSTO MÍNIMO - CIDADES DE 8 A 14. (continua)

ANÁLISE CUSTO MÍNIMO													
8		9		10		11		12		13		14	
m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km
	995,40		935,20		1005,20		1079,40		778,40		833,00		642,60
	357,00		324,80		366,80		469,00		166,60		194,60		29,40
	329,00		295,40		338,80		441,00		138,60		166,60	23,25	14,00
	385,00	23,22	123,20		187,60	8,35	173,60		103,60		226,80		242,20
	275,80		343,00		257,60		449,40		186,20		113,40		56,00
	221,20		470,40		313,60		478,80		323,40		131,60		289,80
	319,20		494,20		330,40		492,80		341,60		156,80		243,60
	351,40		158,20		201,60		302,40	39,48	28,00		193,20		138,60
	235,20		313,60		246,40		365,40		163,80		74,20		114,80
	408,80		376,60		420,00		520,80		219,80		247,80		84,00
	421,40		387,80		431,20		533,40		231,00		259,00		95,20
	170,80		345,80		182,00		344,40		193,20	168,01	35,00		168,00
50,29	30,80		505,40		173,60		334,60		351,40		170,80		329,00
	408,80		376,60		420,00		520,80		219,80		247,80		84,00
	918,40		1117,20		953,40		1115,80		964,60		779,80		866,60
	221,20		470,40		313,60		478,80		323,40		131,60		289,80
	219,80		469,00		312,20		477,40		322,00		130,20		287,00
	256,20		424,20		267,40		429,80		278,60		93,80		182,00
	504,00		463,40		513,80		616,00		313,60		341,60		177,80
	232,40		266,00	20,27	109,20		271,60		120,40		70,00		231,00
	334,60		324,80		235,20		397,60		175,00		61,60		127,40
50,29		23,22		20,27		8,35		39,48		168,01		23,25	
R\$ 429,05		R\$ 792,42		R\$ 613,14		R\$ 401,53		R\$ 306,21		R\$ 1.628,86		R\$ 90,16	

TABELA 6 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO CUSTO MÍNIMO - CIDADES DE 15 A 21. (continua)

ANÁLISE CUSTO MÍNIMO													
15		16		17		18		19		20		21	
m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km
	735,00		582,40		463,40		372,40	95,15	180,60		509,60		739,20
	124,60		113,40		207,20		299,60		487,20		508,20		191,80
	95,20		84,00		177,80		270,20		457,80		532,00		183,40
	212,80		322,00		417,20		509,60		697,20		663,60		312,20
	42,00		134,40		228,20		320,60		508,20		497,00		130,20
	184,80		421,40		520,80		476,00		663,60		366,80		110,60
	173,60		254,80		354,20		309,40		497,00	8,08	289,80	26,77	63,00
	176,40		219,80		313,60		406,00		593,60		630,00		277,20
27,77	12,60		196,00		291,20		383,60		571,20		474,60		121,80
	208,60		28,00		99,40		191,80		379,40		406,00		315,00
	187,60		35,00		85,40		177,80		365,40		560,00		330,40
	100,80		250,60		343,00		463,40		651,00		448,00		95,20
	261,80		408,80		504,00		623,00		810,60		585,20		256,20
	208,60	38,33	28,00		99,40		191,80		379,40		406,00		315,00
	823,20		877,80		841,40		750,40		558,60		558,60		687,40
	184,80		421,40		520,80		476,00		663,60		366,80		110,60
	168,00		420,00		518,00		462,00		651,00		352,80		98,00
	110,60		313,60		413,00		368,20		555,80		354,20		42,00
	302,40		99,40	3,76	42,00	16,40	92,40		281,40		642,60		413,00
	126,00		310,80		406,00		525,00		712,60		509,60		158,20
	28,00		208,60		302,40		394,80		582,40		463,40		110,60
27,77		38,33		3,76		16,40		95,15		8,08		26,77	
R\$ 96,92		R\$ 297,29		R\$ 43,74		R\$ 419,75		R\$ 4.759,99		R\$ 648,62		R\$ 467,16	

TABELA 7 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO CUSTO MÍNIMO - CIDADES DE 22 A 28. (continua)

ANÁLISE CUSTO MÍNIMO													
22		23		24		25		26		27		28	
m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km
	749,00		845,60	48,48	72,80	15,18	203,00		348,60		477,40		733,60
	459,20		305,20		739,20		810,60		747,60		574,00		733,60
	411,60		288,40		709,80		782,60		865,20		771,40		597,80
	480,20		357,00		949,20		1020,60		996,80		903,00		729,40
	366,80		236,60		760,20		833,00		830,20		736,40		562,80
	124,60		14,00		800,80		841,40		700,00		499,80		434,00
	240,80		170,80		722,40		764,40		621,60		421,40		355,60
	445,20		322,00		845,60		917,00		961,80		761,60		695,80
	319,20		196,00		823,20		949,20		806,40		714,00		540,40
	494,20		421,40		631,40		704,20		876,40		662,20		610,40
	509,60		436,80		617,40		688,80		891,80		541,80		625,80
	253,40		130,20		882,00		922,60		781,20		581,00		513,80
	343,00		296,80		1019,20		1059,80		918,40		824,60		651,00
	494,20		421,40		631,40		704,20		876,40		662,20		610,40
	579,60		701,40		369,60		239,40	27,90	96,60	6,92	380,80		478,80
	124,60	19,18	14,00		800,80		841,40		700,00		499,80		434,00
16,39	112,00		28,00		784,00		840,00		630,00		420,00		378,00
	233,80		110,60		786,80		827,40		686,00		485,80	36,44	280,00
	593,60		519,40		533,40		604,80		749,00		564,20		708,40
	326,20		203,00		943,60		984,20		842,80		642,60		576,80
	306,60		184,80		834,40		936,60		795,20		595,00		529,20
16,39		19,18		48,48		15,18		27,90		6,92		36,44	
R\$ 508,48		R\$ 74,38		R\$ 977,63		R\$ 853,59		R\$ 746,55		R\$ 729,93		R\$ 2.826,29	

TABELA 8 - RESULTADOS DA ANÁLISE DO CUSTO MÍNIMO - CIDADES DE 29 A 32.

ANÁLISE CUSTO MÍNIMO							
29		30		31		32	
m³	Km	m³	Km	m³	Km	m³	Km
	922,60		785,40		607,60		1236,20
	869,40		733,60		814,80		968,80
	893,20		757,40		838,60		992,60
	1026,20		889,00		970,20		1023,40
	859,60		722,40		805,00		957,60
	729,40		593,60		674,80		667,80
	651,00		515,20		596,40		750,40
5,95	284,20		855,40		936,60		988,40
	835,80		700,00		781,20		862,40
	905,80		770,00		851,20		1005,20
	921,20		785,40		865,20		1020,60
	810,60		673,40		991,20		796,60
	946,40		810,60		891,80		858,20
	905,80		770,00		851,20		1005,20
	445,20	19,55	309,40	2,91	130,20		1062,60
	729,40		593,60		674,80		667,80
	700,00		532,00		574,00	9,07	560,00
	415,80		579,60		660,80		777,00
	1003,80		868,00		949,20		1103,20
	572,60		736,40		817,60		869,40
	824,60		824,60		770,00		849,80
5,95		19,55		2,91		9,07	
R\$ 468,40		R\$ 1.675,51		R\$ 104,95		R\$ 1.406,94	

Elaboração própria.

3.3.2. Análise do Método Vogel.

Na aplicação do MV, utilizou-se o pacote Office EXCEL para auxiliar na aplicação do método, após serem definidos todos os dados de demanda, oferta e as distâncias entre os arcos. O MV foi executado de acordo com a metodologia já descrita, calculam-se as diferenças entre os coeficientes nas linhas e nas colunas na matriz, foi selecionado qual dentre eles detém o maior valor. Calcularam-se 31 diferenças para os coeficientes das linhas e os coeficientes das colunas, cálculo denominado iteração. Dentre as iterações, 10 diferenças foram escolhidas entre os coeficientes das colunas e 22 diferenças entre os coeficientes das linhas, por possuírem o maior valor da diferença entre os coeficientes. Com a coluna/linha selecionada foi escolhido o menor valor do arco de distância e alocado nesta célula o maior valor possível de demanda. Como exemplo do cálculo específico do arco temos a demanda de 655,47 m³/dia da cidade de Campo Grande (1), a qual deve ser suprida. Após calcular a maior diferença entre os menores coeficientes das linhas e colunas, escolheu-se então nesta coluna o menor “arco distância” não nulo, e se utilizou a oferta disponível para suprir a demanda requerida. O “arco distância” selecionado neste exemplo entre a cidade de Campo grande (1) e a Usina de Costa Rica, cujo coeficiente de distância entre o nó é de 470,40 km. Assim, calculando o custo do arco é obtido o seguinte valor:

$$\text{Min. } Z = 655,47 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 470,40 \text{ km} * 0,277 \frac{\text{R\$}}{\text{m}^3 * \text{km}} = 85.408,29 \frac{\text{R\$}}{\text{dia}}$$

Procedendo da mesma forma para todos os arcos da nossa matriz, as tabelas 9 a 13 ilustram todos os cálculos. Após atender todas as demandas o processo é finalizado, e aplicado à função objetivo para obter o menor custo do transporte com o método. Nas tabelas 9 a 13, está a matriz resultado, onde foram alocadas as demandas nas células selecionadas pelo processo do MV, ou seja, após realizar o processo de escolha do coeficiente da linha ou coeficiente da coluna, é selecionado a célula com o menor coeficiente e aplicado nele a maior quantidade possível de oferta, com o propósito de atender toda a demanda do arco. No caso estudado o MV apresenta um custo maior do que o CM, mesmo na teoria afirmando que o MV geralmente é mais eficaz do que o de CM.

TABELA 11 - MATRIZ DA DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA PELO MV. (continua)

16	17	18	19	20	21	22	23
		16,40	95,15	8,08			
					26,77		
38,33							
						16,39	
							19,18
	3,76						
38,33	3,76	16,40	95,15	8,08	26,77	16,39	19,18
R\$ 297,29	R\$ 43,75	R\$ 1.691,76	R\$ 4.759,91	R\$ 1.139,98	R\$ 467,23	R\$ 2.630,80	R\$ 74,39

TABELA 12 - MATRIZ DA DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA PELO MV. (continua)

24	25	26	27	28	29	30	31
48,48							
					5,95		
	15,18	27,90	6,92			19,55	2,91
				36,44			
48,48	15,18	27,90	6,92	36,44	5,95	19,55	2,91
R\$ 977,62	R\$ 1.006,77	R\$ 746,53	R\$ 730,19	R\$ 2.826,09	R\$ 468,45	R\$ 1.675,48	R\$ 105,08

TABELA 13 - MATRIZ DA DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA PELO MV.

32	OFERTA RESTANTE
	34,26
	297,30
	854,79
	119,12
	246,58
	263,01
	1010,51
	375,64
	145,21
	290,44
	2191,78
	267,95
	178,96
	328,77
	214,58
	246,57
9,07	336,57
	231,51
	231,03
	315,89
	314,18
9,07	
R\$ 1.407,09	

Elaboração própria.

3.3.3. Análise comparativa entre as duas metodologias.

Com os dois métodos de otimização utilizados no estudo obtiveram-se custos do transporte de etanol por dia no estado de Mato Grosso do Sul com valores diários expressivos. Assim, a abordagem de MV apresentou um custo da função objetivo de R\$ 134.011,13/dia e pela abordagem do CM apresentou um custo de R\$ 64.316,04/dia. Esses valores foram obtidos a partir da matriz de nós e arcos da rede de distribuição do etanol. Os cálculos envolveram dados de oferta, demanda e multiplicação com os coeficientes de custo, que incorpora a distância e os custos por arco do transporte de etanol. No caso estudado, as usinas possuem uma produção de etanol no total de 10.037,81 m³ diários, sendo destes apenas 1.543,16 m³ diários distribuídos para atender a demanda do estado. Com estes valores definidos temos que o custo de transporte R\$ 86,84/m³ pelo MV é mais que o dobro que o obtido pelo método de CM que resultou em R\$ 41,68/m³.

As duas metodologias aplicadas no estudo são ferramentas de pesquisa operacional que tem um bom índice de resultados satisfatórios da distribuição do bioetanol, dentre as duas a que segundo a teoria, deveria apresentar um melhor

resultado era o MV, porém no caso estudado o método do CM apresenta um resultado melhor, pois, chega a ser mais de 50% a menor que o custo com o MV. A razão pela qual o MV foi mais oneroso que o CM é a seguinte: a metodologia indica que a maior diferença entre os dois menores coeficientes entre as linhas e colunas de ser a escolhida. Contudo, isso muita vezes leva a uma escolha de um arco com maior coeficiente que outro arco que poderia ser escolhido caso o critério seja apenas o menor coeficiente para aquele destino. E a aplicação do MV em matrizes de grande e médio porte, como é o nosso caso, uma matriz (21x32), com numerosos coeficientes podem prejudicar a eficácia do MV. Sendo assim o método do CM apresentou melhores resultados de rotas para a distribuição do bioetanol no estado do MS.

3.4. CONCLUSÃO

Após o estudo concluído e os resultados comentados, pode se destacar que o estado do MS é um grande produtor de bioetanol, pois sua produção é capaz de suprir toda a demanda do estado, que é apenas 17% da produção total e os outros 83% são exportados. Além disso, algumas cidades mesmo tendo uma demanda extremamente pequena possuem um custo de distribuição relativamente alto, este fato ocorre devido a que o transporte do combustível não depende somente da demanda, mas também de outra variável de grande importância que é o “arco custo/distância” que realmente determina o valor agregado ao custo.

O estudo avalia o custo mínimo das rotas otimizadas do transporte do bioetanol no estado. Caso essas metodologias fossem adotadas ocorreria uma mudança no setor de transporte, ocasionando, no mínimo, a redução de custos. O conjunto de benefícios pode ser ainda o menor desgaste dos veículos, diminuir a utilização de combustíveis fósseis, utilização otimizada da frota de caminhões responsáveis pelo transporte, contribuindo assim para a diminuição da taxa de emissões de gases no MS. Outro fator positivo decorrente da otimização seria o benefício de menor desgaste das vias e/ou estradas.

4. ESTUDOS FUTUROS

Com o trabalho concluído pode-se levantar hipóteses do que ainda pode ser feito, dando segmento ao tema abordado, abaixo estão listados algumas dessas hipóteses:

- Aplicar outros métodos de PO para a análise de otimização da distribuição do bioetanol no estado do Mato Grosso do Sul;
- Realizar um estudo sobre a utilização dos biocombustíveis no Brasil, sendo levantados dados de cada estado e por região, e analisar como estes combustíveis têm sido utilizados e produzidos em nosso país;
- Realizar parceria com uma empresa de distribuição de bioetanol no estado do MS, e analisar quais são as rotas reais utilizadas e fazer um comparativo com o estudo deste trabalho e tentar empregar na empresa rotas otimizadas;

REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, C; SOUZA, S. P. de. **Cana-de-açúcar: a melhor alternativa para conversão da energia solar e fóssil em etanol**. Economia & Energia, ano x – Nº 59. Dezembro de 2006.
- ALMEIDA, Edmar; VIEGAS, Thales. **Crise de oferta no mercado do etanol: conjuntural ou estrutural?** Blog infopetro, 2011.
- AZEVEDO, Adriana Neves Gomes; LIMA, Bruna Gomes Azevedo. **Biocombustíveis: Desenvolvimento e inserção internacional**. Revista Direito Ambiental e sociedade, V.6, n. 1, 2016 (p. 77-100).
- BACCHI, Mirian Rumenos Piedade. **O desafio da produtividade**. Cepea-Esalq/USP, 2015.
- BACKES, Thaine Regina.: **O capital agroindustrial canavieiro em Mato Grosso do Sul e a internacionalização da produção**. Universidade Federal da Grande Dourados, 2009.
- BEN (Balanço Energético Nacional). **Relatório Final**. Ano base 2014. Empresa de Pesquisa Energética – EPE – Rio de Janeiro, 2015.
- BNDS. **Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros**. Sucroenergético. BNDES Setorial 31, 2010. (p. 49-98).
- BNDS **A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural?** Bioenergia. BNDES Setorial 37, 2013. (p. 399-442).
- BORTOLETTO, Aline Marques; ALCARDE, André Ricardo. **Dominante nos EUA, etanol de milho é opção, Brasil para safra excedente**. Visão agrícola Nº 13. Julho de dezembro de 2015.
- BP. **Statistical Review of World Energy**. Junho de 2016.
- CEPA (Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada). **Transporte no Brasil**. USP, 2010.
- DNIT (Departamento nacional de infra-estrutura do transporte). **Infra-estrutura rodoviária**. 2013.
- FECOMBUSTÍVEIS. **Relatório anual revenda de combustíveis**. 2016.
- ILOS (Especialistas em logísticas e supply chain). **Transporte de combustíveis no Brasil – Investimentos para o abastecimento até 2020**. Fevereiro de 2013.
- ORTÚZAR, Juan de Dios; Willumsen, Luis G. **Modelling transport**. 4ª ed., Abril de 2011.
- PUCCINI, Abelardo; PIZZOLATO, Nélío. **Programação Linear**. 2ª ed., Rio de Janeiro, Brasil, 1989.

REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century). **ENERGIA RENOVÁVEIS 2016: relatório da situação mundial**. 2016.

RIBEIRO, Renata Albuquerque. **Estado e biocombustíveis: uma parceria para o desenvolvimento?** Ponto de Vista, nº 8. Agosto de 2013.

RIBEIRO, Renata Albuquerque. **Inserção internacional e energia: a política externa de Lula para biocombustíveis**. 2014.

RODRIGUES, Sérgio Bezerra de Menezes. **Avaliação das alternativas de transporte de etanol para a exportação na região Centro-Sul**. São Carlos, Brasil, 2007.

SAUER, Ildo. **Biocombustíveis no Brasil: comercialização e logística**. 2013.

SILVA, Evandro Mirra Paula de; SAKATSUME, Fábio. **A Política brasileira de biocombustíveis**. Workshop a expansão da agroenergia e seus impactos sobre os ecossistemas naturais brasileiros. BNDES/ÚNICA/AGROPALMA. Rio de Janeiro, março de 2007.

TAHA, Hamdy A. **Pesquisa operacional**. 8ª ed., Brasil, 2008.

TURDERA, Eduardo Mirko. **Tese de mestrado: Otimização da expansão de um sistema energético usando grafos generalizados: estudo de caso da Bolívia**. Campinas, 21 de Junho de 1993..

TURDERA, Eduardo Mirko; Dal Molin Natália. **Análise da viabilidade econômica de uma usina sucroenergética considerando a variação do preço do bagaço e a variação da venda de energia elétrica**. X Bioenergy Congress, Julho de 2015, São Paulo.

VIEGAS, Thales. **Por que os estímulos federais não satisfazem os produtores de Etanol?** Blog infopetro, 2013.

Sites consultados

ANP: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos>

DENATRAN: <http://www.denatran.gov.br/>

GOOGLE MAPS: <http://www.google.com.br/maps/>

IBGE: <http://www.ibge.gov.br/>

ILOS: <http://www.ilos.com.br/matriz-de-transportes/>

NOVACANA: <http://www.novacana.com/>

PETROBRÁS: <http://www.petrobras.com.br/pt/>

UDOP: <http://www.udop.com.br/>

UNICA: <http://www.unica.com.br/>