

**INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA**

**USO DO ETANOL COMO ESTÍMULO À  
CONCORRÊNCIA NO MERCADO DE COMBUSTÍVEIS:  
UMA ANÁLISE BASEADA NO MODELO  
DE EQUILÍBRIO DE PREÇOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**SISSI ALVES DA SILVA**

**BRASÍLIA-DF**

**2019**

**SISSI ALVES DA SILVA**

**USO DO ETANOL COMO ESTÍMULO À  
CONCORRÊNCIA NO MERCADO DE COMBUSTÍVEIS:  
UMA ANÁLISE BASEADA NO MODELO  
DE EQUILÍBRIO DE PREÇOS**

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento, área de concentração em Economia, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Mezadre Pompermayer

Co-orientador: Prof. João Maria de Oliveira, Msc.

**BRASÍLIA-DF**

**2019**

## INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA

---

Silva, Sissi Alves da

S586u Uso de etanol como estímulo à concorrência no mercado de combustíveis: uma análise baseada no modelo de equilíbrio de preços / Sissi Alves da Silva – Brasília : IPEA, 2019.

95 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento, área de concentração em Economia, 2019

Orientação: Fabiano Mezadre Pompermayer

Coorientação: João Maria de Oliveira

Inclui Bibliografia.

1. Etanol. 2. Refinarias de Petróleo. 3. Oligopólios. 4. Estabilização de Preços. I. Pompermayer, Fabiano Mezadre. II. Oliveira, João Maria de. III. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. IV. Título.

CDD 662.669

---

Ficha catalográfica elaborada por Andréa de Mello Sampaio CRB-1/1650

**SISSI ALVES DA SILVA**

**USO DO ETANOL COMO ESTÍMULO À CONCORRÊNCIA NO  
MERCADO DE COMBUSTÍVEIS:  
UMA ANÁLISE BASEADA NO MODELO  
DE EQUILÍBRIO DE PREÇOS**

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento, área de concentração em Economia, para a obtenção do título de Mestre.

Defendida em 30 de outubro de 2019.

**COMISSÃO JULGADORA**

---

Prof. Dr. César Costa Alves de Mattos – Câmara dos Deputados

---

Prof. Dr. Marco Antonio F. de H. Cavalcanti – IPEA

---

Prof. Dr. Fabiano Mezadre Pompermayer

---

Prof. Dr. João Maria de Oliveira, Msc.

**BRASÍLIA-DF**

**2019**

Dedico ao meu filho Felipe que me salva todos os dias.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me carregado durante todo esse percurso.

Aos meus pais e minha irmã, pelo amor e incentivo incondicionais.

Ao meu orientador Prof. Fabiano Mezadre Pompermayer pela generosidade e tranquilidade em ensinar mesmo o trivial, e por acreditar que daria tudo certo.

Ao meu co-orientador Prof. João Maria de Oliveira porque foi a pessoa certa, na hora certa.

Aos meus amigos do laboratório do CADE: Bruno, Emmanuel, Felipe Wolf, Guilherme, Luciana, Maurício, Maxwell, Paulo, Rubem e em especial a Felipe Valadares pelo apoio incondicional.

Aos meus queridos amigos fontes de carinho e incentivo: Adriano Fagundes, Danielly, Débora, Denise, Erika Awane, Helvecio, Joseph, Larissa, Liu, Mariana, Patrícia Ávila, Patrícia Jacobs, Renata e Ulliana.

As minhas queridas Adriana e Marcela que cuidaram do meu filho para eu poder estudar.

Aos meus queridos amigos da 3ª. Turma do Mestrado em Políticas Públicas e Desenvolvimento do IPEA, em especial: Wanessa, Letícia, Ariana, Cris, Isadora, Sérgio Queiroz, Pekka e Humberto pela parceria durante todo o curso.

Aos professores Cláudio Amitrano, e Bernardo Alves Furtado pelo apoio e incentivo.

Aos colegas do IPEA onde passei quase quatro meses trabalhando na dissertação: Edson, Katia, Marília, Nayara, Paulinha, Fátima, Socorro e Renan.

Aos colegas e professores que me forneceram informações valiosas para entender melhor o mercado: Abel Abdalla Torres, Angela Oliveira da Costa, Elizabeth Farina, Guilherme Resende, José Nilton de Souza Vieira, Luiz Fernando Satolo, Paula Bogossian, Paula Isabel da Costa Barbosa, Rachel Martins Henriques, Rafael Barros Araujo e Rutelly Marques.

*“I get by with a little help from my friends,  
I get high with a little help from my friends,  
Gonna try with a little help from my friends...”*

The Beatles.

## **Lista de Abreviaturas**

ANP: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

CEPEA: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CIF - *Cost, Insurance and Freight*

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

CTC - Centro de Tecnologia Canavieira

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

FOB-: *Free on board*

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento

PECEGE - Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas

REDUC - Refinaria de Duque de Caxias

REFAP - Refinaria Alberto Pasqualini

REGAP - Refinaria Gabriel Passos

REMAN - Refinaria Isaac Sabbá

REPLAN - Refinaria de Paulínia

REPAR - Refinaria Presidente Getúlio Vargas

RLAM - Refinaria Landulpho Alves

RNEST - Refinaria Abreu e Lima

RPBC - Refinaria Presidente Bernardes – Cubatão

RPCC - Refinaria Potiguar Clara Camarão

RPR - Refinaria de Petróleo Riograndense

SIFRECA: Sistema de Informação de Fretes

UNICA: União da Indústria de Cana-de-açúcar



## **Lista de Figuras**

Figura 1 – Esquema da cadeia produtiva do mercado de combustíveis derivados de petróleo.....	2
Figura 2 - Diagrama explicativo da cadeia de abastecimento de combustíveis automotivos.....	16
Figura 3 - Infraestrutura de produção e movimentação de petróleo e derivados. ....	18
Figura 4 - Mapa da distribuição geográfica das usinas sucroalcooleiras. ....	20
Figura 5 - Fluxo da cadeia de suprimentos do etanol.....	23
Figura 6 - Sub-regiões de demanda.....	29
Figura 7 - Fluxograma simplificado do algoritmo utilizado. ....	36

## **Lista de Quadros**

Quadro 1 - <i>Market Share</i> das principais empresas nos elos de refino e distribuição.....	18
Quadro 2 - Principais estados produtores e compradores de etanol.....	21
Quadro 3 - Notação utilizada na equação 10.....	32
Quadro 4 - Etapas do algoritmo de otimização.....	37
Quadro 5 - Configurações da simulação.....	54

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Preços médios ponderados por região, em 13 de dezembro de 2018.....	19
Tabela 2 - Tributação da gasolina e do etanol por UF, situação em maio/2018. ....	22
Tabela 3 – Preços (R\$/m <sup>3</sup> ) e demandas iniciais (m <sup>3</sup> ), estimados para abril/2015. ....	30
Tabela 4 - Elasticidades preço para cenário com etanol como substituto da gasolina .....	39
Tabela 5 - Elasticidades preço para o cenário sem substituição etanol-gasolina. ....	40
Tabela 6 - Elasticidades preço em que gasolina e etanol possuem as mesmas elasticidades.....	41
Tabela 7 – Capacidade de usinas e refinarias consideradas na análise por sub-região de demanda. ....	43
Tabela 8 - Comparação demandas e preços iniciais e de equilíbrio para a gasolina .....	44
Tabela 9 - Demandas de equilíbrio para a gasolina - firmas de derivados.....	45
Tabela 10 - Comparação demandas e preços iniciais e de equilíbrio para o etanol. ....	46
Tabela 11 -Demandas de equilíbrio para o etanol - Usinas e <i>Trader</i> .....	48
Tabela 12 - Comparação demandas e preços iniciais e de equilíbrio para o diesel.....	49
Tabela 13 - Demandas de equilíbrio para o diesel - firmas de derivados.....	50
Tabela 14 - Comparação demandas e preços iniciais e de equilíbrio para o óleo combustível.....	51
Tabela 15 - Demandas de equilíbrio para o óleo combustível- firmas de derivados.....	52
Tabela 16 - Comparação de demandas e preços de equilíbrio para gasolina e etanol.....	53
Tabela 17 - Comparação dos preços médios ponderados pela quantidade para cada cenário.....	54
Tabela 19 - Dados sobre petróleo estimados para abril/2015.....	61
Tabela 20 - Capacidade nominal por refinaria. ....	61
Tabela 21- Custos de transporte para a gasolina (R\$/m <sup>3</sup> ). ....	62
Tabela 22- Custos de transporte para a óleo diesel e óleo combustível (R\$/m <sup>3</sup> ) .....	63
Tabela 23 - Custos de transporte para os <i>Traders</i> (R\$/m <sup>3</sup> ).. ....	64
Tabela 24 - Custo de refino e taxas de conversão da RECAP.....	65
Tabela 25 - Custo de refino e taxas de conversão da REFAP.....	65
Tabela 26 - Custo de refino e taxas de conversão da RECAP.....	66
Tabela 27 - Custo de refino e taxas de conversão da REMAN.....	66
Tabela 28 - Custo de refino e taxas de conversão da REPAR.....	67
Tabela 29 - Taxas de conversão e custo de refino para a REPLAN.....	67
Tabela 30 - Taxas de conversão e custo de refino para a REVAP.....	68
Tabela 31 - Taxas de conversão e custo de refino para a RLAM.....	68
Tabela 32 - Taxas de conversão e custo de refino para RPBC.....	69

Tabela 33 - Taxas de conversão e custo de refino para RNEST. ....	69
Tabela 34 - Taxas de conversão e custos de refino para RPCC. ....	70
Tabela 35 - Taxas de conversão e custo de refino para Riograndense. ....	70
Tabela 36 - Taxas de conversão e custo de refino para Manguinhos. ....	70
Tabela 37 - Taxas de conversão e custo de refino para Univen. ....	71
Tabela 38 - Taxas de conversão e custo de refino para DaxOil. ....	71
Tabela 39 - Custos de aquisição de combustíveis no mercado internacional estimados para 2015. ....	72
Tabela 40 - Evolução dos custos de produção agroindustriais do etanol hidratado (R\$/m <sup>3</sup> ). ....	72
Tabela 41 - Estimativas de custos industriais para o etanol hidratado (abril/2015). ....	72
Tabela 42 - Custos de transporte para o etanol (R\$/m <sup>3</sup> ). ....	73
Tabela 43 – Continuação dos dados custos de transporte para o etanol (R\$/m <sup>3</sup> ). ....	74

**Resumo:**

O objetivo desse trabalho foi verificar se o uso do etanol contribui para aumentar a concorrência no elo de refino do mercado de combustíveis, a partir de um modelo de equilíbrio espacial de preços. Com vistas a isso, implementou-se um modelo de oligopólio multiproduto com mercados produtores e demandantes separados espacialmente, desenvolvido de forma que cada um dos agentes maximiza o seu próprio lucro, buscando o equilíbrio de Cournot-Nash. Nos cenários simulados, considerou-se um oligopólio fechado, com um número fixo de firmas: cinco firmas refinadoras, sendo que uma delas com doze refinarias, dois *traders* de derivados, um *trader* de etanol e três usinas de etanol cujas plantas estão agregadas em regiões: Norte-Nordeste, Centro-Sul Expansão e Tradicional. Com o objetivo de responder à questão de pesquisa, foram simulados três cenários: com e sem elasticidade cruzada entre etanol e gasolina e com as elasticidades da gasolina iguais à do etanol. De modo geral, como resultado da introdução do etanol como substituto da gasolina, observou-se uma redução marginal dos preços de equilíbrio da gasolina e nenhuma alteração nos preços do diesel e do óleo combustível, em relação à situação do cenário em que as elasticidades cruzadas entre gasolina e etanol foram nulas. Esse comportamento parece decorrer do fraco efeito de substituição que o etanol provoca no mercado de derivados e deve ser levado em conta na elaboração de políticas públicas com desdobramentos nos campos econômico e ambiental.

**Palavras-Chave:** etanol, refino de petróleo, oligopólio, equilíbrio espacial de preços.

**Abstract:**

The objective of this work was to verify if the use of ethanol contributes to increase the competition in the refining link of the fuel market productive chain, based on a spatial price equilibrium model. To this end, a multi-product oligopoly model with spatially separated producer and demand markets has been implemented in such a way that each actor maximizes its own profit, seeking the Cournot-Nash equilibrium. In the simulated scenarios, a closed oligopoly was considered, with a fixed number of firms: five refining firms, one with twelve refineries, two derivatives traders, one ethanol trader and three ethanol plants. In order to answer the research question, three scenarios were simulated: with and without cross-elasticity between ethanol and gasoline and with gasoline elasticities equal to ethanol. Overall, as a result of the introduction of ethanol as a substitute for gasoline, there has been a marginal reduction in gasoline equilibrium prices and no change in diesel and fuel oil prices compared to the scenario where cross-elasticities between gasoline and ethanol were nil. This behavior seems to be due to the weak substitution effect that ethanol has on the derivatives market.

**Keywords:** ethanol, petroleum refining, oligopoly, price equilibrium.

## SUMÁRIO

<b>Lista de Símbolos e Abreviaturas .....</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de Figuras e de Quadros.....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Tabelas.....</b>	<b>x</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>xii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
Justificativa e problema de pesquisa.....	2
Objetivos .....	3
Estrutura do documento.....	4
<b>Referencial Teórico.....</b>	<b>6</b>
Modelos de Concorrência.....	6
Equilíbrio Espacial de Preços.....	9
Outros estudos.....	14
<b>O Mercado de Combustíveis.....</b>	<b>16</b>
Etanol.....	19
O papel do Estado.....	24
A Petrobras .....	26
<b>Metodologia.....</b>	<b>27</b>
Algumas Premissas.....	27
Algoritmo para o Equilíbrio de Oligopólio no Mercado de Combustíveis..	36
Utilização das Elasticidades Cruzadas dos Produtos.....	37
Cenários de Simulação.....	38

<b>Apresentação e Análise dos Resultados</b> .....	42
Modelo de Oligopólio Puro.....	42
Comparação entre Cenários com e sem Elasticidades Cruzadas.....	42
Gasolina e Etanol com as mesmas Elasticidades.....	53
Comparação entre preços médios.....	54
<b>Conclusões</b> .....	55
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	57
<b>Apêndice I</b> .....	61
<b>Apêndice II</b> .....	75

## 1 Introdução

O petróleo e seus derivados constituem a principal fonte de energia utilizada no mundo. São responsáveis por 31,9 % da matriz energética mundial e continuarão permanecendo como a principal fonte energética mundial nos próximos anos (EPE, 2018). Por essa razão, o petróleo é sinônimo de riqueza e poder para um país, figurando-se entre as principais *commodities* negociadas no mercado internacional (PINTO JÚNIOR, 2007).

Estritamente, não se produz petróleo, mas sim, buscam-se reservas já existentes, por meio de avançadas pesquisas exploratórias. As reservas estão distribuídas, em quantidade e qualidade, de forma desigual no planeta, originando grandes diferenças na estrutura de custos dos agentes que produzem e comercializam. Após a descoberta da jazida, extrai-se o óleo utilizando-se tecnologias específicas, que podem ser mais complexas dependendo de vários fatores, entre eles da localização da jazida, do tipo do óleo, dentre outros.

A competição pelo acesso às reservas e, portanto, à geração e à apropriação das rendas econômicas constituem-se, muitas vezes, em disputas geopolíticas no mundo. O início do século XX foi marcado por acirradas disputas pelas reservas mundiais de petróleo: houve o domínio do mercado pelas sete maiores companhias de petróleo transnacionais, Exxon; Shell; BP; Mobil; Texaco; Gulf e Chevron, que controlaram o mercado petrolífero internacional até os anos 1960 (PINTO JÚNIOR, 2007).

Esse controle teve fim com a criação da Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEP, que nasceu com o objetivo de controlar preços e volumes de produção, pressionando o mercado internacional. Após isso, ocorreram os dois choques do petróleo (1973 e 1979), que culminaram dentre outras consequências, com o aumento abrupto do preço do barril de petróleo, que impactou negativamente as contas externas dos países dependentes desse produto.

Ao perceber a dependência em relação aos países árabes, os países do ocidente começaram a mudar suas matrizes energéticas e iniciaram projetos que buscavam por formas alternativas de energia. O Brasil foi um dos países que buscou reduzir essa dependência externa promovendo e incetivando o uso do etanol ainda na década de 1970, com a criação do Programa Nacional do Álcool - Proálcool.

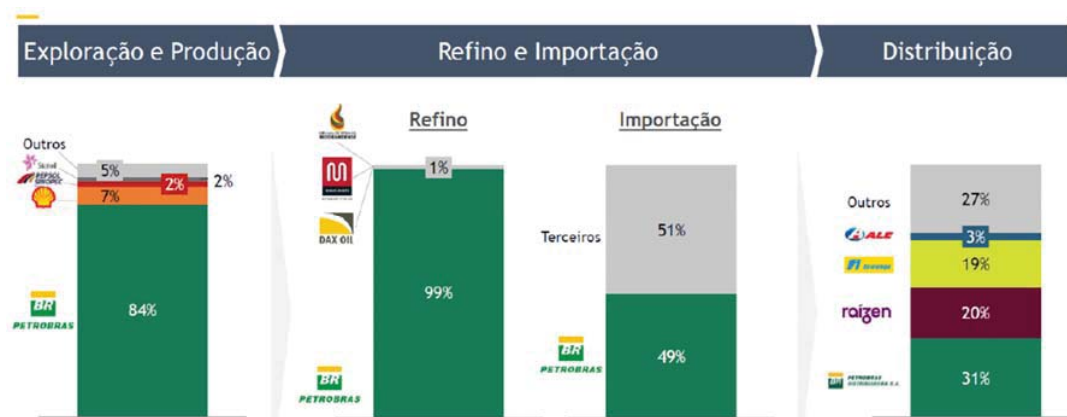


A principal motivação da criação do Proálcool foi diminuir a dependência brasileira pelo petróleo. Com o passar dos anos, contudo, observou-se que, além das vantagens econômicas, o etanol da cana-de-açúcar apresentava uma grande vantagem do ponto de vista ambiental para o país, porque emitia menos carbono para a atmosfera em comparação com a gasolina e outros combustíveis. Nesse sentido, o estímulo ao etanol via produção do carro *flex*, em 2008, promoveu uma nova revolução no setor de transportes contribuindo para a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>.

### 1.1 Justificativa e problema de pesquisa

Tanto o Conselho Administrativo de Defesa Econômica-CADE, quanto a Agência Nacional de Petróleo – ANP têm sido acionados a analisar o poder de mercado da Petrobras, no mercado de combustíveis devido à concentração desse mercado, como se pode observar na Figura 1. Pelo menos na etapa de refino, a empresa deteve 99% de participação, em 2016.

**Figura 1** – Esquema da cadeia produtiva do mercado de combustíveis derivados de petróleo.



Fonte: Petrobras<sup>1</sup>.

Em resposta às solicitações de análise, o CADE publicou a nota técnica DEE n° 37/2018 afirmando que “*é possível que concentração de mercado de refino nacional permita*

<sup>1</sup> Apresentação de Reposicionamento da Petrobras em refino Refinaria Landulpho Alves – Mataripe, BA Modelo preliminar slide 4. Dados de 2016, coletados em março de 2017.

*algum nível de poder de mercado, para a Petrobras, que se utiliza de sua localização geográfica isolada em termos dos mercados mundiais principais para internalizar na sua margem de lucro o custo de transporte”.*

A concentração no refino pode ensejar ação da empresa com maior poder de mercado de determinar um preço para o derivado acima do custo marginal com consequente perda de bem-estar social, prejudicando a coletividade (CHURCH e WARE, 2000). Assim, o governo federal está realizando ações que objetivam vender uma série de ativos, o que possivelmente culminará em aumento da concorrência, nos mercados de óleo e gás<sup>2</sup>.

Além da alteração da estrutura do mercado como medida de aumento de concorrência no refino, espera-se que a introdução do etanol como substituto da gasolina também estimule a competição nesse mercado. Assim, este trabalho pretende verificar se o etanol é capaz de afetar a dinâmica de preços dos combustíveis.

O mercado brasileiro de combustíveis tem natureza espacial, ou seja, a produção e o consumo ocorrem em regiões separadas, e cada uma dessas regiões possui uma relação específica de oferta e demanda. Os custos de transportes são determinantes na definição dos preços dos combustíveis entre as regiões.

Devido às características geográficas do mercado estudado, pode-se considerar que só há comércio entre duas regiões se o preço da demanda é igual ao preço da oferta mais custos de transporte. Logo, caso o preço da demanda seja menor do que a soma entre o preço da oferta e os custos de transporte, não haverá comércio entre as regiões (SATOLO e FILHO, 2009). Para a elucidação desse problema, considerando-se que podem existir diversas rotas entre as regiões de produção e consumo, a linha de pesquisa escolhida foi utilizar um algoritmo de busca de equilíbrio espacial de preços por meio da maximização do lucro das firmas existentes no mercado.

## **1.2 Objetivos**

Este estudo propõe atender ao objetivo geral e aos objetivos específicos a seguir, acerca do mercado de combustíveis automotivos no Brasil.

---

<sup>2</sup> Cade e Petrobras assinam acordo que prevê venda de oito refinarias da estatal. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/06/11/cade-e-petrobras-assinam-acordo-que-preve-venda-de-oito-refinarias-da-estatal.ghtml>. Acesso em 23.ago.19.

### **1.2.1 Objetivo geral**

Como objetivo geral, pretende-se verificar se o uso do etanol proporcionado pelo desenvolvimento dos motores flexíveis contribui para aumentar a concorrência no elo do refino da cadeia produtiva do mercado de combustíveis, a partir de um modelo de equilíbrio espacial de preços com oligopólio.

A hipótese levantada é que, mesmo com o poder de mercado da Petrobras, espera-se que o etanol como substituto da gasolina, gere algum efeito de competição no mercado de refino. Para isso, a ideia é avaliar o comportamento do modelo proposto para os casos em que etanol e gasolina possuem elasticidades cruzadas iguais a zero, diferentes entre si e não-nulas, e elasticidades diretas e cruzadas iguais entre si.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Para alcançar o objetivo estabelecido, os seguintes objetivos específicos devem ser satisfeitos:

- a. Caracterizar o problema de equilíbrio a ser resolvido mediante a definição de suas variáveis, de suas restrições e das condições de equilíbrio associadas aos agentes envolvidos;
- b. Atualizar o modelo utilizado em Pompermayer (2002) com dados recentes, e incluir o etanol como substituto da gasolina.
- c. Avaliar o comportamento do modelo proposto por meio de sua implementação computacional. Resolver para os casos em que etanol e gasolina tanto possuem elasticidades cruzadas diferentes de zero como iguais a zero .

### **1.3 Estrutura do documento**

Este trabalho está dividido em seis capítulos. O capítulo um introduz o assunto estudado, apresenta a questão a ser respondida e informa os objetivos gerais e específicos desenvolvidos na dissertação.

O capítulo dois trata do referencial teórico que dá suporte a este trabalho, apresenta os modelos de concorrência, bem como dos três modelos de oligopólios dominantes e tece uma resumida explicação sobre a teoria do equilíbrio espacial de preços.

O capítulo três inicia com uma explicação sobre a cadeia de abastecimento de combustíveis, trata das características do etanol, apresenta o papel do Estado e da Petrobras, dois agentes importantes que influenciam esse mercado.

O capítulo quatro apresenta a metodologia utilizada para a simulação do modelo de oligopólio definido, apresenta as equações, as variáveis e os parâmetros do mercado de combustíveis necessários para as análises dos cenários: o mercado de combustíveis com e sem existência de substituição entre o etanol e a gasolina.

O capítulo cinco apresenta os resultados e os modos de análise dos dados, em termos dos preços e quantidades de equilíbrio, bem como a forma de distribuição do suprimento entre as firmas que compõem o mercado, na simulação (refinadoras, usinas e *traders* que importam produtos e vendem no mercado nacional).

O capítulo seis apresenta as conclusões e as sugestões de novos estudos.

Além dos capítulos descritos, este documento inclui dois apêndices: o primeiro apresenta os dados utilizados na aplicação de otimização. O segundo apêndice contém rotina de otimização desenvolvida na linguagem de programação *Python*.

## 2 Referencial Teórico

Esta seção tem o objetivo de apresentar de forma resumida a teoria que dá suporte ao desenvolvimento do modelo de equilíbrio espacial de preços para oligopólio, com vistas a analisar a competição entre etanol e gasolina na cadeia de refino do mercado de combustíveis.

### 2.1 Modelos de concorrência

Pode-se entender mercado como um cenário em que ocorrem disputas (entre consumidores, entre produtores e entre produtores e consumidores) por recursos escassos. Nessas disputas, o principal objetivo das empresas é a maximização do lucro. De acordo com (KUPFER e HASENCLEVER, 2002), a maneira de se escrever a função lucro depende da variável estratégica (quantidade ou preço), da natureza do produto (homogêneo ou diferenciado) e do horizonte de programação dos produtores, essa última característica não será considerada nesse trabalho para efeito de simplificação do problema de programação linear, que será descrito na metodologia.

Diz-se que um mercado funciona em concorrência perfeita quando os bens e serviços transacionados são homogêneos, isto é, os produtos são substitutos e não há diferenças entre eles, para os compradores. Não há barreiras à entrada de mais empresas nesse mercado, de modo que nenhuma empresa pode influenciar os preços ou as quantidades transacionadas. Há um grande número de compradores e vendedores, cada um agindo independentemente do outro. Além disso, há informação perfeita, ou seja, compradores conhecem os preços pelos quais outros compradores e vendedores comercializam o bem<sup>3</sup> (CORE TEAM, 2017).

Ainda de acordo com esses autores, um mercado de concorrência perfeita com essas características é apenas hipotético<sup>4</sup>. Em muitos casos há um número limitado de concorrentes,

---

<sup>3</sup> Tradução livre pela autora.

<sup>4</sup> De acordo com a Secretaria de Promoção da Produtividade e Advocacia da Concorrência (Seprac), SEAE(2016), a maioria dos mercados não se enquadra perfeitamente nessas características e, portanto, possui concorrência imperfeita. Em muitos casos há um número limitado de concorrentes, como o caso do mercado de combustíveis, o que constitui um oligopólio, isto é, um mercado formado por poucos fornecedores de um bem ou serviço. Cada fornecedor detém uma parcela considerável do mercado, de forma que qualquer mudança em sua política de vendas afeta a participação de seus concorrentes e os induz a reagir.

como o caso do mercado de combustíveis, o que constitui um oligopólio, isto é, um mercado formado por poucos fornecedores de um bem ou serviço. Cada fornecedor detém uma parcela considerável do mercado, de forma que qualquer mudança em sua política de vendas afeta a participação de seus concorrentes e os induz a reagir.

Por outro lado, num mercado de concorrência imperfeita, as empresas detêm algum poder de mercado, isto é, possuem capacidade de influenciar preços e quantidades dos produtos ou serviços nesse mercado, de modo a maximizar seus lucros em detrimento do bem-estar dos consumidores. O poder de mercado de uma empresa é máximo num monopólio e mínimo num mercado de concorrência perfeita.

Em oligopólio, a maximização dos resultados não deve ser entendida unicamente como sinônimo de maximização dos lucros. As empresas podem estar interessadas em obter lucros satisfatórios ou estáveis (e não máximos), ou em maximizar as vendas, ou em maximizar o poder de domínio, etc. (GARÓFALO e CARVALHO, 1995). Neste trabalho, considera-se que as firmas são agentes racionais interessados prioritariamente na maximização de lucros.

Existem três modelos de oligopólio dominantes, discutidos a seguir, que diferem entre si pela variável de interesse quando da maximização, determinação do preço ou quantidade; e quanto à simultaneidade ou não da decisão sobre as escolhas das firmas. Mas todos possuem o conceito de equilíbrio de Nash.

### 2.1.1 Regime de Cournot-Nash

Em 1838<sup>5</sup>, Cournot investigou a competição entre dois produtores, numa estrutura chamada duopólio. Como pressupostos da pesquisa, o autor assumiu que não havia informação incompleta entre os agentes, que os produtos vendidos eram homogêneos e que a competição ocorreria em uma única rodada. Nesse jogo, os competidores decidem sua estratégia simultaneamente, que depende da manipulação das quantidades dos produtos. Um ponto

---

<sup>5</sup> COURNOT, A. A. *Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth*. London, NY: MacMillan, 1838. 213 p. Disponível em: <https://www3.nd.edu/~tgresik/IO/Cournot.pdf>

importante desse jogo é que cada produtor presume que uma variação na sua oferta não é antecipada pelos rivais.

Em 1951, Nash<sup>6</sup> generalizou o conceito de Cournot para o caso de  $n$  jogadores, cada um agindo em favor de seu próprio interesse, o que chamou de jogo não-cooperativo. Um ponto importante a se relatar é que, no equilíbrio de Nash, a combinação das estratégias escolhidas leva a um resultado no qual nenhum dos jogadores individualmente se arrepende, ou seja, o jogador não poderia melhorar a sua situação unilateralmente, dado que já escolheu a melhor estratégia, considerando a escolha dos outros (USP, 2005).

No ponto de equilíbrio, o jogo se manterá estável até que sofra a influência de algum fator exógeno - como por exemplo, alteração na demanda do mercado, quando, conseqüentemente, haverá novos ajustes de posições entre os jogadores com a repetição de todo mecanismo escolha das estratégias (GARÓFALO e CARVALHO, 1995).

Do ponto de vista social, o regime de Cournot é dominado pelo regime de concorrência perfeita, visto que este último maximiza o bem-estar da sociedade, ou seja, o excedente total e o excedente dos consumidores. Entretanto, o regime de Cournot é preferível do ponto de vista privado, pois proporciona lucros mais elevados para as empresas individualmente (KUPFER e HASENCLEVER, 2002).

### **2.1.2 Regime de Bertrand**

Em 1883, Bertrand publicou uma resenha do trabalho de Cournot, em que defendeu a ideia de que as firmas competiam via escolha de preços e não de quantidade produzida. O regime concorrencial de Bertrand corresponde à competição em preço na qual cada produtor presume que alterações no seu preço não são antecipadas pelos rivais (USP, 2005). O modelo é calcado na tentativa que cada duopolista efetua para monopolizar o mercado.

De acordo com essa teoria, a firma que praticasse o menor preço levaria todo o mercado, independente de outras questões como por exemplo, congestionamento, tempo de atendimento, proximidade do demandante, entre outras. Assim, o equilíbrio desse jogo seria o ponto em que as

---

<sup>6</sup> NASH, J. F. Noncooperative games. In: **Annals of Mathematics**. [S.l.: s.n.], 1951. p. 286–298.

firmas praticassem o preço mais baixo possível, igual ao custo marginal, ou seja, igual à solução da concorrência perfeita (FREITAS, 2003).

### **2.1.3 Regime de Stackelberg**

O regime de Stackelberg pressupõe decisões sequenciais em dois estágios, no primeiro, o produtor um (chamado líder) toma sua decisão escolhendo quantidade ou preço de maneira a maximizar seu lucro. Na segunda etapa, os outros  $n-1$  produtores (chamados seguidores ou satélites) efetuam suas melhores escolhas individualmente, dada a escolha do líder, também com vistas à maximização de seus lucros.

Segundo Garófalo e Carvalho (1995), as firmas optarão pelas suas posições de líderes ou satélites, condicionadas àquelas posições em que puderem maximizar seus lucros. Assim, se o lucro mais elevado ocorrer quando forem seguidoras, optarão por esta condição; caso o seja quando forem líderes, esta será a posição preferida.

## **2.2 Equilíbrio Espacial de Preços**

De acordo com Nagurney (2014), em mercados em que produtores e compradores estejam separados geograficamente, somente há fluxo entre produtor e consumidor se o custo marginal de produção na origem, acrescido do custo de transporte, for igual ao preço no mercado consumidor. Se for maior não haverá transporte entre esses mercados. Ainda segundo a autora, modelos de equilíbrio espacial de preços são utilizados para avaliar vários tipos de mercado que possuam tais características, dentre eles, mercados de combustível e gás natural.

O mercado brasileiro de combustíveis tem natureza espacial, ou seja, produção e/ou consumo usualmente ocorrem em regiões separadas geograficamente, cada uma delas possui uma relação específica de oferta e demanda. Se os preços entre as regiões forem dados em maior grau pelos custos de transporte inter-regionais, a comercialização ocorrerá e será direcionada por tais custos. Dessa forma, os custos de transportes podem ser determinantes na definição dos preços dos combustíveis.



De acordo com Harker (1986), “quando os mercados se comportam no modo Cournot-Nash, cada mercado considera as decisões dos demais mercados produtores como sendo fixas, quando decide a sua própria estratégia de distribuição”. Segundo o autor, o conceito de equilíbrio espacial de preços tem sido foco de estudo desde os trabalhos de Samuelson (1952)<sup>7</sup> e Takayama e Judge (1971)<sup>8</sup> ao se tratar de problemas sobre movimentação de mercadorias e competição entre mercados e consumidores espacialmente distribuídos.

Um sistema está em equilíbrio quando as variáveis de estado que o descrevem não se modificam ao longo do tempo. Um sistema permanece em equilíbrio quando não existem forças atuantes que modificam as variáveis de estado deste sistema. As variáveis de estado que caracterizam o mercado são: preços, quantidades produzidas, quantidades transportadas e quantidades consumidas.

Com base no exposto, para responder a questão de pesquisa, escolheu-se como principal referencial teórico a ser utilizado a teoria do Equilíbrio Espacial de Preços. Além disso, considerou-se um contexto estático, ou seja, a dimensão temporal é ignorada, portanto, assumiu-se que os produtores tomam suas decisões simultaneamente, de maneira não-cooperativa, cada qual maximizando sua própria função lucro.

### **2.2.1 Equilíbrio de Cournot-Nash para Oligopólio Espacialmente Distribuído**

Em meados da década de 1980, Harker (1986) apresentou modelos alternativos para os problemas de equilíbrio espacial de preços e seus respectivos algoritmos que incorporavam as falhas dos mercados. Até então, os modelos de equilíbrio espacial de preços utilizavam a hipótese de que os mercados eram perfeitamente concorrenciais. Primeiramente, o autor apresentou modelos de um único produto homogêneo cujo fluxo se dava por meio de uma rede sem nós. Posteriormente, o autor generalizou esses modelos incluindo uma rede de transporte mais geral, que inclui nós para

---

<sup>7</sup> Samuelson, P. A. (1952). **Spatial Price Equilibrium and Linear Programming**. American Economic Review, 42, 283-303.

<sup>8</sup> Takayama, T., & Judge, G. G. (1971). **Spatial and Temporal Price and Allocation Models**. North Holland: Amsterdam.

representar portos, pátios ferroviários e terminais de transporte de carga. Por fim, discutiu extensões destes modelos para mais de um produto.

De acordo com Nagurney (1999), o problema clássico de oligopólio é considerado como sendo aquele em que  $m$  produtores estão envolvidos na produção de uma *commodity* homogênea. Para o desenvolvimento do modelo proposto pela autora, considera-se: a quantidade produzida pelo mercado  $i$  será denotada por  $q_i$ ;  $f_i$  denota o custo da produção da *commodity* pelo mercado  $i$  e  $p$  denota o preço de demanda:

$$f_i = f_i(q_i) \quad (1)$$

$$p_i = p_i\left(\sum_{i=1}^m q_i\right) \quad (2)$$

O lucro do mercado  $i$ , denotado por  $u_i$ , pode ser expresso por:

$$u_i = p_i\left(\sum_{i=1}^m q_i\right)q_i - f_i(q_i) \quad (3)$$

Generalizando-se as considerações apresentadas para o modelo clássico de oligopólio, apresentadas por Nagurney (1999), novas estruturas de modelagem matemática podem ser formuladas. Assim, considera-se a existência de  $m$  mercados produtores<sup>9</sup> e  $n$  mercados consumidores que se encontram espacialmente distribuídos e assumindo que uma *commodity* seja produzida pelos mercados  $m$  e consumidas nos mercados  $n$ .

A partir do modelo anterior, dado pela equação (3), considera-se:  $q_i$ , a quantidade produzida pelo mercado produtor  $i$ ;  $d_j$ , a demanda da *commodity* no mercado consumidor  $j$  e  $T_{ij}$  o fluxo de transporte entre o par de mercados produtor/consumidor  $(i,j)$ .

$$q_i = \sum_{j=1}^n T_{ij}, \forall i \quad (4)$$

$$d_j = \sum_{i=1}^m T_{ij}, \forall j \quad (5)$$

---

<sup>9</sup> No modelo de Nagurney (1999), cada firma corresponde a um mercado produtor no modelo de oligopólio.

$$T_{ij} \geq 0, \forall i, j \quad (6)$$

A função lucro do mercado  $i$ , é dada por:

$$u_i = \sum_{j=1}^n p_j T_{ij} - f_i - \sum_{j=1}^n t_{ij} T_{ij} \quad (7)$$

Em que:

$t_{ij}$  = custo do transporte entre  $(i, j)$

$p_j$  = preço de venda da commodity no mercado  $j$

Finalmente, considera-se o mecanismo de um mercado oligopolístico, em que os  $m$  mercados produtores da *commodity* funcionam de maneira não-cooperativa (cada um tentando maximizar seu próprio lucro), a função utilidade (lucro) pode ser reescrita como:  $u = u(T)$ , em que  $T$  é a matriz de todos os  $T_{ij}$ .

De acordo com Narguney(1999), a distribuição  $T^* \in R_+^{mn}$  de uma *commodity* é dita constituir um Equilíbrio de Cournot-Nash se para cada mercado consumidor  $i$ , ( $i = 1, \dots, m$ ), tem-se:

$$u_i \left( T_i^*, \hat{T}_i^* \right) \geq u_i \left( T_i, \hat{T}_i^* \right), \quad \forall T_i \in \mathfrak{R}_+^n \quad (8)$$

$$T_i \equiv \{T_{i1}, \dots, T_{in}\} \quad \text{e} \quad \hat{T}_i^* \equiv \{T_1^*, \dots, T_{i-1}^*, T_{i+1}^*, \dots, T_m^*\} \quad (9)$$

Justifica-se a escolha do modelo de Cournot-Nash em detrimento do de Bertrand, para simular o comportamento das firmas no mercado de combustíveis brasileiro, pois, nesse segundo modelo, o preço é a variável determinante para a escolha da firma pelo comprador. No modelo de Bertrand, o fornecedor que oferece o menor preço ganha todo o mercado, o que não ocorre na realidade ao se analisar o mercado considerando algum grau de agregação regional.

Com a agregação em um ponto, um mercado consumidor seria atendido pela firma com o menor custo total, incluindo o de transporte. Assim, a proximidade a uma firma, é um importante

fator na composição dos custos e, portanto, na escolha do produtor, que supriria todo o mercado consumidor específico.

No modelo proposto, não se simula o detalhe geográfico, conforme já mencionado, as regiões são agregadas em um único ponto. Assim, o modelo de Cournot-Nash, que distribui o mercado entre as firmas de uma mesma região, de acordo com a diferença relativa de custo entre as firmas, torna-se mais próximo da realidade. Há, ainda, a questão da capacidade dos produtores que é uma restrição do mercado em questão, levada em conta no modelo de Cournot e que no modelo de Bertrand não é crítica

Adicionalmente, o mercado de combustíveis no Brasil tem características particulares: existe uma grande empresa estatal com capacidade de suprimento de grande parte da demanda, a Petrobras. Entretanto, o modelo de Stackelberg não seria uma boa escolha nesse trabalho, porque além das firmas de derivados, há as firmas de etanol, que não seguiriam os preços da firma líder, visto que os preços do etanol guardam relação com outros produtos, como o açúcar.

Outro fato a ser considerado é que, devido ao controle governamental sobre os preços, vigente de 2004 a 2015<sup>10</sup>, a concorrência provocada pela introdução do etanol não é facilmente evidenciada nos dados históricos. O controle estatal sobre a Petrobras acabou por limitá-la quanto à sua real possibilidade de maximizar lucros. Com isso, parece pouco provável que seja possível inferir o efeito que a introdução dos veículos *flex*, que facultou ao consumidor a livre escolha do combustível a ser utilizado (gasolina ou etanol), possa ter trazido na concorrência entre fornecedores de gasolina e etanol por meio análises estatístico-econômicas.

Modelos que simulem o comportamento dos agentes, em especial, dos fornecedores, em condições de mercado, tendem a produzir melhores inferências sobre os efeitos do caso em questão. Uma ferramenta que pode ser utilizada para isso são os modelos de equilíbrio espacial de preços, como os descritos em Pompermayer (2002), que permitem estimar os preços e as quantidades de equilíbrio em diferentes condições de concorrência entre firmas produtoras e compradores separados espacialmente.

Os modelos já consideram a interação entre produtos durante o processo de produção (refino de petróleo que produz um *mix* de derivados de acordo com as características das plantas e

---

<sup>10</sup> Até 2015, os preços da gasolina e do diesel eram influenciados por decisões do governo, que chegou a usá-los como instrumento para controlar a inflação (JESUS JÚNIOR et. al., 2017).

do óleo cru processado), mas também permitem a interação entre produtos pelo lado da demanda, via elasticidades-preço cruzadas. Nesse ponto, é possível avaliar o efeito que a possibilidade de escolha entre etanol e gasolina, no momento de abastecer, trouxe à concorrência entre fornecedores desses produtos, por meio de alterações nos valores das elasticidades preço cruzadas entre os dois produtos, comparando a situação anterior aos motores flex em que as elasticidades cruzadas eram baixas (variações de preço entre os produtos pouco afetavam a quantidade consumida), e posterior, com valores bem mais altos de elasticidades cruzadas (pequenas variações de preço levam a grandes variações da quantidade consumida)<sup>11</sup>.

Espera-se observar não apenas o efeito entre os preços e as quantidades consumidas totais de cada produto, mas também o efeito quanto à quantidades fornecidas por cada firma. Também interessa avaliar se há efeitos nos derivados de petróleo não diretamente afetados pela concorrência do etanol, como o óleo diesel e o óleo combustível, que devido à rigidez do processo de refino de petróleo, são produzidos de maneira conjunta.

## 2.3 Outros estudos

Estudos sobre equilíbrio espacial de preços continuam sendo conduzidos em diferentes situações, principalmente porque há diversos mercados em que produtores e compradores estão separados geograficamente. Após os resultados que envolvem decisões sobre preços, quantidades e fluxos, outros estudos têm sido desenvolvidos, abordando outras variáveis e outras complexidades.

Em 2010, Nagurney et al. desenvolveram um modelo de rede para a cadeia de suprimentos de firmas oligopolistas envolvidas na produção, armazenamento e distribuição de um produto homogêneo para vários mercados. As empresas maximizadoras de lucro selecionam as capacidades associadas às várias atividades da rede da cadeia de suprimentos, bem como as quantidades de produtos. Os autores formularam as condições de equilíbrio de Cournot-Nash como

---

<sup>11</sup> De acordo com Cardoso e Bittencourt (2013), “ocorreu um aumento nas elasticidades-preço e elasticidade-cruzada do etanol no curto prazo, resultado esperado por conta da possibilidade de escolha entre etanol e gasolina que os consumidores tiveram após o advento dos carros flex fuel. Os carros flex trouxeram maior possibilidade de arbitragem dos consumidores no combustível escolhido, o bem se tornou um pouco menos essencial pela possibilidade de substituição sem necessidade de troca do veículo. Por isso, os consumidores ficaram mais sensíveis aos preços no período mais recente, tanto na variação do próprio preço do etanol, quanto no preço do principal substituto (gasolina).”

uma generalização de um oligopólio espacial e um problema clássico de oligopólio para incluir variáveis de capacidade.

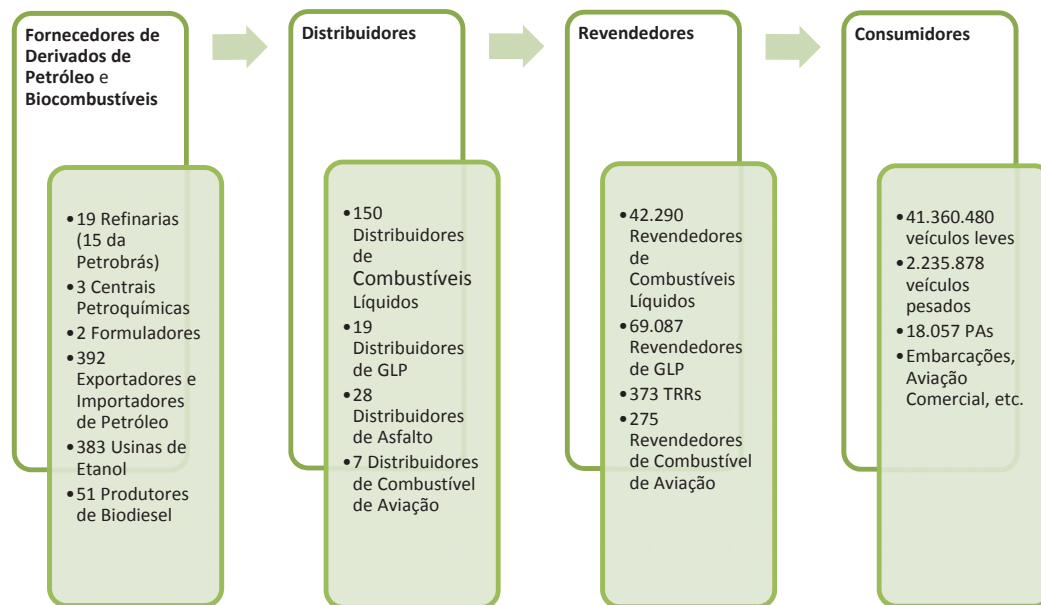
Em um trabalho de 2018, Nagurney et al. desenvolveram modelos de rede de equilíbrio espacial de preços, estáticos e adaptativos, com produtos diferenciados sob informação de qualidade perfeita para produtores e consumidores e sob assimetria de informações de qualidade com aprendizado do consumidor sobre a qualidade do produto com um certo atraso de tempo. Como resultado, sob hipóteses apropriadas, foi estabelecida a solução de equilíbrio, consistindo em preços de mercado de oferta e demanda, níveis de qualidade e fluxos de produto.

Acredita-se que tais estudos podem ser realizados futuramente para o mercado de combustíveis, como uma evolução do trabalho apresentado em Pompermayer (2002) e desta dissertação.

### 3 O mercado de combustíveis

As cadeias produtivas dos combustíveis automotivos podem ser separadas em dois conjuntos de processos: o *upstream*, composto pelos segmentos a montante (exploração, produção, importação) e o *downstream*, composto pelos segmentos a jusante (transporte, armazenagem, distribuição e revenda). Na Figura 2, apresenta-se um diagrama explicativo da cadeia de abastecimento de combustíveis automotivos.

**Figura 2** - Diagrama explicativo da cadeia de abastecimento de combustíveis automotivos.



Fonte: ANP<sup>12</sup>

No mercado nacional, a gasolina A<sup>13</sup> e o óleo diesel A<sup>14</sup> podem ser adquiridos das refinarias (situação mais comum), de centrais petroquímicas ou de outros produtores. O etanol (anidro e hidratado) é adquirido pelas distribuidoras diretamente nas usinas sucroalcooleiras (ou

<sup>12</sup> Baseada na Nota Técnica SDR/ANP n° 68/2018.

<sup>13</sup> Gasolina A: Produzida no País, a importada ou a formulada pelos agentes econômicos autorizados para cada caso, isenta de componentes oxigenados e que atenda ao Regulamento Técnico. Resolução ANP n° 40, de 25/10/2013.

<sup>14</sup> Óleo Diesel: compreende o(s) óleo(s) diesel(is) e a mistura de óleo diesel/biodiesel, especificado(s) pela ANP. Resolução ANP n° 58, de 17/10/2014. O percentual de biodiesel (B100) adicionado ao óleo diesel A (puro), é de 10%, desde 03/2018.

outros fornecedores, como empresas comercializadoras, etc.). O biodiesel, por sua vez, é adquirido das plantas produtoras de biodiesel por meio de leilões públicos realizados pela ANP (2016).

Ao abastecer o veículo no posto revendedor, o consumidor adquire a gasolina C, que é uma mistura de gasolina A, com etanol anidro<sup>15</sup>. A gasolina A, produzida pelas refinarias, é pura, sem etanol. As distribuidoras compram gasolina A das refinarias e o etanol anidro das usinas produtoras, e misturam esses dois produtos para formular a gasolina C, que é vendida ao consumidor nos postos revendedores.

A proporção de etanol anidro nessa mistura é determinada pelo Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool – CIM, dentro da faixa estabelecida pela Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993 (LIMA, 2016). Atualmente o percentual obrigatório de álcool anidro é de 27% na gasolina comum e 25% na *premium*.

Observa-se, pela Figura 2, que há uma diversidade de estruturas e agentes envolvidos nos vários níveis da cadeia do setor de combustíveis. Os combustíveis líquidos automotivos (gasolina comum<sup>16</sup>, gasolina aditivada<sup>17</sup>, etanol comum, etanol aditivado, óleo diesel B) são comercializados exclusivamente pelas distribuidoras para os postos revendedores.

Na etapa de produção de combustíveis fósseis, constata-se elevada concentração: das 19 refinarias existentes, 15 pertencem à Petrobras e equivalem a 99% da capacidade de refino total do País. As unidades localizam-se, em sua maioria, próximas ao litoral e estão bastante concentradas na região sudeste. Nesta região, também há uma rede de dutovias razoavelmente estabelecida interligando refinarias a terminais e os terminais entre si.

Pode-se observar no Quadro 1 o *Market Share* das principais empresas no elo de refino e distribuição, em 2017, em âmbito nacional, de acordo com a ANP. Além disso, de acordo com o Relatório de Comércio Exterior da ANP, a Petrobras foi responsável por 21,4% das importações de gasolina, em 2017 (ANP, 2018).

---

<sup>15</sup> Etanol anidro: também chamado de etanol puro ou etanol absoluto, possui pelo menos 99,6% de graduação alcoólica. Dessa forma, o álcool anidro é praticamente etanol puro. A palavra anidro tem origem grega e significa "sem água" (a = não e hidro = água).

<sup>16</sup> Gasolina Automotiva: Compreende a (s) gasolina (s) especificada (s) pela ANP, exceto a gasolina de aviação e a gasolina para uso em competição automotiva. Resolução ANP nº 58, de 17/10/2014.

<sup>17</sup> Combustível aditivado: combustível automotivo contendo aditivo registrado na ANP, cuja adição tenha sido efetuada por distribuidor e identificado na bomba do posto revendedor como: etanol aditivado, etanol *premium* aditivado, gasolina aditivada ou gasolina comum aditivada, gasolina *premium* aditivada, diesel aditivado ou óleo diesel aditivado, diesel S500 aditivado ou óleo diesel S500 aditivado e diesel S10 aditivado ou óleo diesel S10 aditivado.



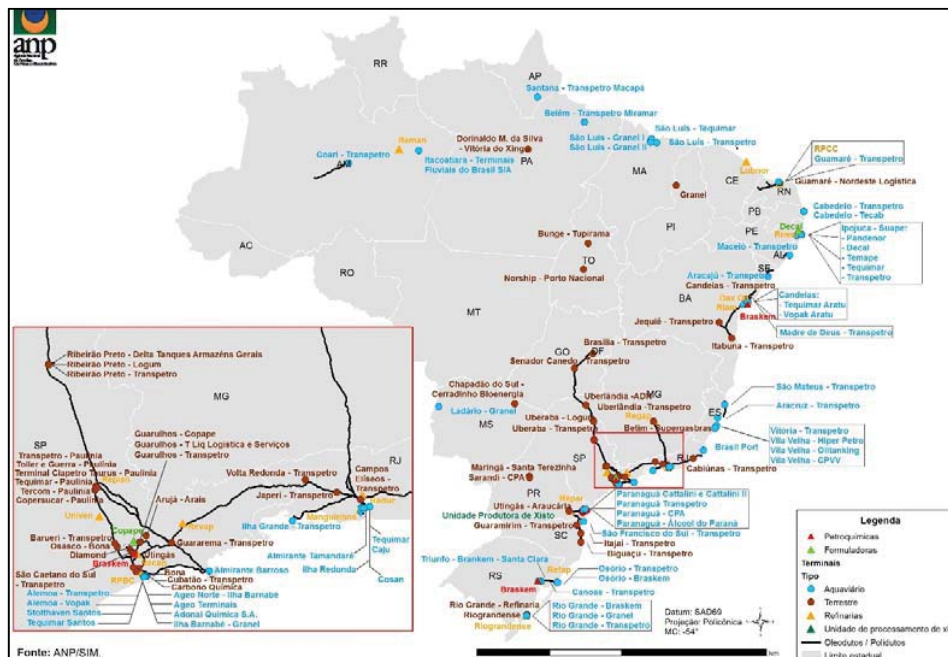
**Quadro 1 - Market Share** das principais empresas nos elos de refino e distribuição.

No elo do Refino		No elo da Distribuição	
Market Share da Petrobras		Petrobras + Raizen + Ipiranga	
Óleo diesel A	74%	Óleo Diesel B	73%
Gasolina A	88%	Gasolina C	65%
Óleo combustível	99%	Etanol Hidratado	54%
Querosene de aviação	100%	Querosene de Aviação	88%

Fonte: ANP (2018).

Os dutos de transporte existentes, atualmente, são operados majoritariamente pela Transpetro, empresa do grupo Petrobras. Além disso, na cadeia logística de distribuição de combustíveis, os fluxos primários de gasolina – ou seja, a retirada destes produtos das refinarias e terminais e seu transporte para as bases primárias – são basicamente realizados por dutos e por cabotagem (ANP, 2016).

**Figura 3 - Infraestrutura de produção e movimentação de petróleo e derivados.**



Fonte: ANP (2018).

O aumento da escala comercial e a minimização dos custos logísticos são objetivos estratégicos cruciais no mercado de combustíveis. Para alcançá-los, as companhias necessitam de acesso ao produto e a modos eficientes para sua movimentação, possuir capacidade de armazenamento e bases bem localizadas e dimensionadas. Dadas as características espaciais do mercado, a localização das bases pode se constituir, inclusive, em importante barreira à entrada no segmento de distribuição, em razão do impacto direto sobre a estrutura de custos de transporte de combustíveis.

A ANP divulga os preços médios ponderados semanais praticados pelos produtores (refinarias, centrais petroquímicas e formuladores) e importadores de derivados de petróleo por região, conforme sintetizado na Tabela 1.

**Tabela 1** - Preços médios ponderados por região, em 13 de dezembro de 2018.

Derivados de petróleo	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sul	Sudeste
Gás Liquefeito de Petróleo (R\$/kg)	2,260212	2,29474142	*	2,340003	2,3366196
Gasolina A Comum (R\$/litro)	2,66167	2,67241809	2,903084681	2,746008	2,7893902
Gasolina A Premium (R\$/litro)	*	*	*	3,310775	3,2673133
Óleo Combustível A1 (R\$/kg)	1,888317	1,96882128	*	1,913667	2,1279653
Óleo Combustível B1 (R\$/kg)	*	*	*	1,703969	2,22628
Óleo Diesel S-10 (R\$/litro)	2,40255	2,40949532	2,605102553	2,460859	2,5157668
Óleo Diesel S-500 (R\$/litro)	2,363715	2,38438234	2,59626617	2,433252	2,4861719
Óleo Diesel <sup>1</sup> (R\$/litro)	2,376705	2,39576936	2,598461915	2,441356	2,4972002
Querosene de Aviação (R\$/litro)	2,182543	2,17078915	*	2,221775	2,18755

Fonte: ANP.<sup>18 19</sup>

### 3.1 Etanol

O etanol (ou álcool etílico) é um biocombustível que pode ser obtido por meio do processamento de várias culturas agrícolas, destacando-se a produção a partir do milho, maior expressão nos Estados Unidos, e pelo processo de fermentação do caldo de cana-de açúcar, no

<sup>18</sup> Disponível em <http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-de-produtores>. Acesso em: 13.dez.2018.

<sup>19</sup> Os preços não incluem os valores do ICMS, que dependem de legislação própria de cada estado da Federação. Estão incluídas, quando couber, as parcelas relativas à Cide, ao PIS/Pasep e à COFINS.

Brasil. Utilizado como combustível nos motores de ciclo Otto<sup>20</sup>, especificamente no setor de transporte rodoviário.

A produção de cana-de-açúcar historicamente está concentrada nas regiões nordeste e sudeste. A partir dos anos 1980, a produção iniciou sua expansão para a região Centro-Oeste, gerando mudanças econômicas, sociais, espaciais e culturais. A instalação das usinas no estado do Mato Grosso do Sul, em meados de 1983, ocorreu em resposta ao fortalecimento do setor canavieiro com a criação do PróAlcool em 1975.

**Figura 4** - Mapa da distribuição geográfica das usinas sucroalcooleiras.



Fonte: COLETI(2015)

---

<sup>20</sup> Motores de ciclo Otto: motores de combustão interna com ignição por centelha.

**Quadro 2** - Principais estados produtores e compradores de etanol.

Percentual da Produção		Percentual da Demanda	
São Paulo	47%	São Paulo	57%
Goiás	17%	Minas Gerais	10%
Minas Gerais	10%	Paraná	9%
Mato Grosso do Sul	9%	Goiás	7%
Mato Grosso	5%	Mato Grosso	4%
Paraná	5%	Rio de Janeiro	4%
Restante do país	7%	Bahia	2%
		Pernambuco	2%

Fonte: (PÉRA, CAIXETA-FILHO, 2018).

Na safra de 2018, a produção de etanol atingiu o patamar de 27 bilhões de litros, em 292 municípios. Pode-se verificar, no **Quadro 2**, os principais produtores e compradores de etanol, e que seis estados respondem por 93% da produção. Tal produção foi distribuída para 42 mil postos de combustíveis de forma a atender a demanda em mais de 4,6 mil municípios do país (cobertura de 83% dos municípios brasileiros). O estado de São Paulo é o maior demandante do etanol, cerca de 57% do combustível é destinado ao estado, que conta com a menor carga tributária, conforme pode-se verificar na Tabela 2.

Em 2015, os tributos federais estavam zerados para o etanol, como forma de política de subsídio ao combustível. Apesar da questão tributária ser de difícil incorporação, optou-se pela simplificação no desenvolvimento das simulações, assim o tratamento dado foi de inclusão de um subsídio nos custos do etanol.

**Tabela 2** - Tributação da gasolina e do etanol por UF, situação em maio/2018.

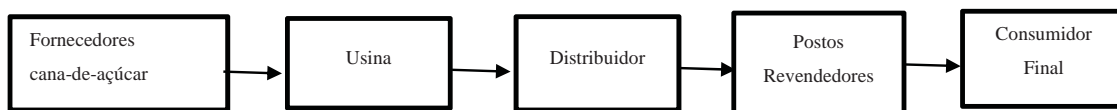
UF	Tributação gasolina (R\$/l)			Tributação etanol (R\$/l)		
	Tributos Federais (CIDE+ PIS/COFINS)	Tributo Estadual (ICMS)	Total	Tributos Federais (CIDE+ PIS/COFINS)	Tributo Estadual (ICMS)	Total
AC	0,652	1,202	1,854	0,242	0,994	1,236
AL	0,652	1,267	1,918	0,242	0,921	1,163
AM	0,652	1,125	1,777	0,242	0,900	1,142
AP	0,652	1,034	1,686	0,242	0,948	1,189
BA	0,652	1,25	1,901	0,242	0,67	0,912
CE	0,652	1,209	1,861	0,242	0,802	1,044
DF	0,652	1,201	1,853	0,242	0,990	1,232
ES	0,652	1,121	1,772	0,242	0,906	1,148
GO	0,652	1,294	1,945	0,242	0,671	0,913
MA	0,652	1,091	1,742	0,242	0,915	1,157
MT	0,652	1,083	1,735	0,242	0,762	1,004
MS	0,652	1,051	1,703	0,242	0,870	1,112
MG	0,652	1,45	2,101	0,242	0,541	0,783
PA	0,652	1,112	1,763	0,242	0,895	1,137
PB	0,652	1,2	1,852	0,242	0,747	0,989
PE	0,652	1,233	1,884	0,242	0,759	1,001
PI	0,652	1,364	2,016	0,242	0,679	0,921
PR	0,652	1,195	1,846	0,242	0,531	0,773
RJ	0,652	1,607	2,259	0,242	0,934	1,176
RN	0,652	1,238	1,889	0,242	0,808	1,050
RO	0,652	1,122	1,773	0,242	0,979	1,221
RR	0,652	1,08	1,732	0,242	0,930	1,172
RS	0,652	1,322	1,973	0,242	1,229	1,471
SC	0,652	0,98	1,632	0,242	0,880	1,122
SE	0,652	1,184	1,835	0,242	0,957	1,198
SP	0,652	1,009	1,66	0,242	0,325	0,567
TO	0,652	1,288	1,939	0,242	1,030	1,271

Fonte: FECOMBUSTÍVEIS<sup>21</sup>.

<sup>21</sup>Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e Lubrificantes. Tributação dos Combustíveis por Estado. Disponível em: <http://www.fecombustiveis.org.br/wp-content/uploads/2018/05/Carga-tribut%C3%A1ria-estadual-Maio-2018-2%C2%AA-quinzena.pdf>.

A distribuição do etanol segue uma rota compulsória estabelecida pela agência reguladora de combustíveis no Brasil, a ANP. Com base na Resolução Nº 43 de 22 de dezembro de 2009<sup>22</sup>, da ANP, a usina só pode comercializar o etanol, hidratado ou anidro, com o distribuidor, ficando vedada a entrega direta aos postos revendedores. Tal regra pode gerar ineficiências, como por hipótese, afetar as regiões produtoras de etanol que estão próximas das regiões consumidoras, obrigando o transporte do etanol até um distribuidor para posteriormente voltar com o combustível para os locais de consumo (GAMA e WIDMER, 2015).

**Figura 5** - Fluxo da cadeia de suprimentos do etanol (GAMA e WIDMER, 2015).



Há dois tipos de etanol utilizados como combustíveis automotivos: o etanol hidratado e o etanol anidro. De acordo com o Manual de Custos e Indicadores do Setor da Bioenergia, o etanol hidratado carburante é o álcool a 92.00 GL<sup>23</sup> (92% de álcool + 8% de água) utilizado como combustível direto nos veículos com motores *flex*. O etanol Anidro é o álcool a 99.60 GL (99.6% de álcool + 0.4% de água) utilizado como aditivo aos combustíveis. Atualmente, a gasolina brasileira possui 27% de álcool anidro.

Para o desenvolvimento da aplicação, utilizaram-se dados do levantamento de fechamento da safra 2014/15, realizado pelo Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas (PECEGE), em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). Esse levantamento é realizado anualmente e contém informações de custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade. Os dados estão agregados em três regiões: Centro-Sul Tradicional (SP e PR), Centro-Sul Expansão (MG, GO, MS e MT) e Nordeste (AL, PE, PB). Por esse motivo, para a simulação dos cenários, utilizou-se a configuração de três usinas nacionais, com plantas espalhadas pelas unidades da federação.

<sup>22</sup> <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2009/dezembro&item=ranp-43-2009>. Acesso em 14 jun 2019.

<sup>23</sup> GL: unidade de medida equivalente à porcentagem de álcool na mistura. <https://www.novacana.com/etanol/controle-qualidade>.

Um ponto importante a se considerar é que, além do etanol, o produtor do setor sucroalcooleiro pode fornecer outro produto que advém da mesma matéria-prima do etanol - o açúcar. O produtor de etanol pode arbitrar entre produzir açúcar ou produzir etanol de acordo com os preços relativos dos produtos. A proporção de açúcar e etanol produzida em uma usina de cana-de-açúcar é conhecida como “*mix* de produção”.

Na safra 2014/2015, da qual obtiveram-se os dados, na região de Expansão, o *mix* de produção foi direcionado para a obtenção de etanol. O aumento da atratividade na produção desse produto, na referida safra, esteve associado aos preços reduzidos do açúcar no mercado internacional, bem como à necessidade de geração de caixa pelas usinas e maior liquidez do etanol no mercado doméstico (PECEGE, 2015).

Historicamente, o *mix* de produção brasileira médio é de 60% de açúcar e 40% de etanol ou 60% de etanol e 40% de açúcar (MAPA, 2019). Mas ainda existem usinas que só produzem etanol ou que só produzem açúcar<sup>24</sup>. De acordo com Mendes(2010), as usinas do Brasil têm uma capacidade limitada para a produção do açúcar ou do etanol. Grande parte das usinas brasileiras têm uma flexibilidade 40/60. Isso significa que a fábrica é projetada para trabalhar com no máximo 60% da produção de cana-de-açúcar voltada para o açúcar ou o etanol.

Por causa dessa pouca flexibilidade, Costa e Burnquist (2016), no desenvolvimento de um modelo teórico de formação do preço no mercado do etanol hidratado no Brasil, suprimiram a variável referente ao preço do açúcar do modelo, pois segundo as autoras “*estudos conduzidos têm identificado que tal variável não tem sido capaz de explicar a oferta no mercado de etanol*”. Ainda segundo Farina et al (2013), esse comportamento pode ser explicado pelo percentual relativamente baixo de cana-de-açúcar que pode ser convertida entre etanol e açúcar no Brasil: cerca de 10%.

### **3.2 O papel do Estado**

Até a década de noventa do século passado, o setor de abastecimento de combustíveis do Brasil foi marcado por uma forte intervenção do Estado. Com a publicação da Lei 9.478, de 6

---

<sup>24</sup>A usina que produz só álcool está tendo menos dificuldade do que aquela que tem os dois produtos. Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/a-usina-que-produz-so-alcool-esta-tendo-menos-dificuldade-do-que-aquela-que-tem-os-dois-produtos.html>. Acesso em: 26/09/2019.

de agosto de 1997 (Lei do Petróleo), teve início um processo de abertura e desregulamentação do mercado de petróleo e derivados. A partir de 2002, outros agentes foram autorizados a importar derivados de petróleo diretamente para as regiões de consumo, sem intervenção da Petrobras (POMPERMAYER, 2002).

Com o processo de desregulamentação, foi criada a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis-ANP. A ANP foi constituída como uma autarquia federal vinculada ao Ministério das Minas e Energia, pelo Decreto nº 2.455, de 14 de janeiro de 1998. Ela é responsável pela execução da política nacional para o setor energético do petróleo, gás natural e biocombustíveis, conforme a Lei do Petróleo.

Embora a ideia tenha sido a liberação dos preços, como já mencionado, o mercado de combustíveis sofreu várias intervenções, como a política de combate à inflação, que durou de 2004 a 2015, e utilizou os preços da gasolina e do óleo diesel como ferramenta de controle inflacionário. Nesse período, os preços dos combustíveis foram mantidos artificialmente abaixo da média internacional, de modo a conter o aumento dos preços médios da economia.

Essas políticas afetaram de forma negativa o desenvolvimento da indústria do etanol. Além da difícil concorrência em relação aos preços, o setor de etanol havia feito investimentos pesados por causa do surgimento do carro *flex*. O preço congelado inviabilizou empreendimentos e gerou crise no setor.

Em 2017, foi estabelecido um novo marco regulatório para os biocombustíveis, nomeado de *RenovaBio* (Lei nº 13.576/2017). Esse novo programa objetiva reconhecer o papel estratégico dos biocombustíveis para a redução de emissões de gases causadores do efeito estufa com o estabelecimento de metas de descarbonização para um período de dez anos. Essas metas deverão ser cumpridas pelas distribuidoras de combustíveis por meio da comprovação da aquisição de créditos de descarbonização – CBIOs (PETROBRAS, 2018).

Em 2018, duas importantes resoluções foram publicadas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). A primeira, Resolução nº 5, que trata das metas de descarbonização, estabelecendo uma meta de redução de 10,1% na intensidade de carbono do setor de transporte até 2028. Espera-se que essa medida incentive o mercado de combustíveis renováveis.

As distribuidoras ficaram obrigadas a adquirir créditos de descarbonização proporcionais às suas vendas de combustíveis fósseis. A segunda, Resolução nº 16, estabeleceu o



cronograma de elevação da mistura obrigatória de biodiesel ao diesel mineral, apontando um aumento de um ponto percentual por ano, a partir de 2019, alcançando 15% em 2023.

### **3.4 A Petrobras**

A Petrobras foi criada na década de cinquenta como monopolista estatal, e assim permaneceu até ser sancionada a Lei 9.478, de 6 de agosto de 1997 (ou Lei do Petróleo), a qual permitiu que outras empresas também atuassem na exploração, produção, refino e transporte do petróleo e seus derivados. Em 2001, outras normas foram publicadas com vistas à liberação do mercado de combustíveis.

Entretanto, mesmo após essas ações iniciadas há dezoito anos e outras medidas para promover a concorrência no mercado, o governo utilizou-se do poder de mercado dessa empresa interferindo no domínio econômico, prejudicando a concorrência no setor. De acordo com, Jesus Júnior et. al. (2017), o agressivo programa de investimentos e a exposição à interferência política local, evidenciada pelo represamento dos preços dos produtos refinados e pela exigência de cumprimento de metas de conteúdo local, foram apontados como determinantes para a delicada situação econômico-financeira vivida pela Petrobras nos anos 2006-2013, quando se observou uma forte perda de valor no mercado acionário e uma reduzida lucratividade.

Devido a isso, e de forma a incentivar a competição, o governo federal conduziu ações para que a empresa reduzisse sua participação em vários mercados, por exemplo: refino e distribuição. Além disso, a Petrobras anunciou que está realizando o reposicionamento do seu portfólio em ativos de maior rentabilidade numa rodada de venda de ativos. As decisões anunciadas integram o Plano de Negócios e Gestão 2020-2024 da empresa<sup>25</sup>.

A hipótese levantada nesta pesquisa é que, mesmo com o poder de mercado da Petrobras, espera-se que o etanol, como substituto da gasolina, gere algum efeito de competição no mercado de refino. Esse efeito pode ser observado por meio da diminuição de preços dos derivados, na refinaria, quando alcançado o equilíbrio parcial de preços num modelo de oligopólio.

---

<sup>25</sup> Petrobras anuncia venda de oito refinarias e decide reduzir participação na BR Distribuidora. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/04/26/petrobras-anuncia-nova-rodada-de-desinvestimentos.ghtml>. Acesso em 01/07/2019.

## 4 Metodologia

Este trabalho utilizou dados numéricos e uma metodologia quantitativa para obtenção dos resultados. O modelo utilizado foi desenvolvido originalmente por Pompermayer (2002) na linguagem C++. A contribuição desse trabalho é incluir no modelo os termos relacionados ao produto etanol e a sua estrutura de mercado.

O código desenvolvido foi escrito em *Python*, versão 3.6 *Professional*. O *Python* é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada, de *script*, orientada a objetos e de desenvolvimento comunitário, aberto e gerenciado pela organização sem fins lucrativos *Python Software Foundation*<sup>26</sup>.

A otimização foi obtida utilizando o pacote IBM® *Decision Optimization CPLEX® Modeling for Python* versão acadêmica, a partir de um notebook COMPAQ Processador Intel Celeron 1.80 GHz, SSD 250GB e 8GB de memória.

O carregamento dos dados e a parte procedural da programação podem futuramente ser utilizados com outros pacotes otimizadores, como o *PYOMO*<sup>27</sup>, que é de código aberto. Utilizou-se o pacote proprietário da *IBM* por ser de maior facilidade de desenvolvimento para o autor.

### 4.1 Algumas premissas

Consideraram-se três tipos de firmas: refinadoras, *traders* e usinas. As refinadoras podem operar várias refinarias  $j$  produzindo diferentes cestas de produtos derivados, gasolina, diesel e óleo combustível, mas também produz óleo cru  $i$ . Tanto para a produção dos óleos, quanto para o processamento de derivados, há restrições de capacidades que devem ser obedecidas, capacidade de produção do óleo cru  $i$  -  $P_i$ , e capacidade de produção de derivados por refinaria -  $R_j$ , respectivamente.

---

<sup>26</sup> *Python Software Foundation* <<https://www.python.org/psf/>> Acesso em 11.ago.2019.

<sup>27</sup> *Pyomo* é um pacote de *software* de código aberto baseado em *Python* que suporta um conjunto diversificado de recursos para formular, resolver e analisar modelos de otimização. Disponível em: <http://www.pyomo.org/about>. Acesso em 11.ago.2019.

Há sete tipos de óleo cru, os três primeiros são os óleos produzidos na própria firma, os outros quatro tipos são óleos crus disponíveis no mercado. Cada unidade produz somente um tipo de óleo cru  $i$ . Os óleos possuem diferentes custos operacionais relacionados aos modos de operação. Foram considerados apenas dois modos, máxima produção de gasolina ou máxima produção de óleo diesel, sendo que o modelo pode gerar qualquer combinação linear entre os dois.

Na simulação, os *traders* de derivados podem adquirir produtos (gasolina, diesel e óleo combustível) na Argentina e na Venezuela e vender no mercado brasileiro. Considerou-se que o transporte é realizado de um local fictício até os mercados demandantes. O *trader* de etanol adquire o produto dos Estados Unidos, atualmente o maior produtor mundial de etanol. As plantas produtoras de etanol foram agregadas em três usinas que representam a região Centro-Sul dividida em duas: tradicional e expansão, e Norte-Nordeste.

O problema de maximização de lucro para companhias de petróleo pode ser sintetizado da seguinte forma: cada refinaria possui características próprias, produzindo diferentes misturas de produtos do mesmo petróleo, com custos operacionais diferentes. Produtos refinados acabados podem ser trocados entre as refinarias, e uma rede de dutos (ou outro tipo de sistema de transporte) interliga as refinarias.

Conforme já mencionado, cada refinaria tem uma dada capacidade,  $R_j$ , para refinar o petróleo bruto. A produção de alguma quantidade de um produto “lucrativo”, como a gasolina, implica a produção de um produto residual, como o óleo combustível. A quantidade de cada derivado a ser produzido depende das características da refinaria, do petróleo bruto e do modo operacional da refinaria, que, por sua vez, depende da qualidade do petróleo bruto. Isso é formulado usando restrições nas taxas de conversão.

Produtos derivados finais podem ser trocados entre as refinarias, além disso, as refinarias têm seus mercados locais onde os derivados podem ser vendidos com um menor custo de transporte. Os mercados podem ser visualizados na **Figura 6**. Para a execução das simulações, o Brasil foi dividido em  $K$  sub-regiões de demanda, e foi incluída uma sub-região para representar o mercado externo.

**Figura 6 - Sub-regiões de demanda.**



Fonte: Pompermayer (2002).

A **Tabela 3** apresenta os preços e as demandas estimadas para abril/2015, com base nos dados da ANP. Cabe ressaltar, conforme já mencionado, em 2015, houve controle de preços por parte do governo (JESUS JÚNIOR et. al., 2017). Dessa forma, os preços iniciais não são preços de equilíbrio, pois foram mantidos de forma artificial.<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Outro ponto a se ressaltar é que os carros *flex* foram introduzidos no mercado brasileiro em 2003. Segundo dados do anuário da ANFAVEA, em 2015, os veículos *flex* já eram cerca de 85% da frota de veículos leves. Assim, a estimativa de demanda e preços iniciais já contemplava tal situação. Disponível em: <http://www.virapagina.com.br/anfavea2018/>.

**Tabela 3** – Preços (R\$/m<sup>3</sup>) e demandas iniciais (m<sup>3</sup>), estimados para abril/2015.

Regiões de demanda	Gasolina		Óleo Diesel		Óleo Combustível		Etanol	
	<i>pr0</i>	<i>d0</i>	<i>pr0</i>	<i>d0</i>	<i>pr0</i>	<i>d0</i>	<i>pr0</i>	<i>d0</i>
PA/AP	1.536	48.588	1.532	156.352	941	13.457	999	4.988
AM/RR/RO/AC	1.489	63.390	1.494	176.836	941	8.605	968	10.678
MA/PI	1.530	45.723	1.502	121.500	941	2.405	994	8.646
CE/RN	1.517	93.207	1.504	121.143	941	540	986	21.839
PE/PB/AL	1.535	129.790	1.537	181.942	941	2.081	997	42.410
BA/SE	1.477	142.656	1.502	340.799	941	5.362	960	50.065
RJ/ES	1.480	317.083	1.495	406.652	941	22.523	962	65.821
MG	1.469	325.865	1.482	468.222	941	30.285	955	161.873
SP oeste	1.471	249.825	1.489	506.421	941	24.224	956	191.592
SP central	1.485	346.102	1.494	367.399	941	21.767	965	265.427
SP nordeste	1.485	519.152	1.494	547.867	941	27.208	965	398.140
RS	1.476	266.992	1.482	429.805	941	8.624	959	15.160
PR/SC	1.469	359.609	1.488	717.520	941	14.239	955	167.084
MS/MT	1.744	82.099	1.813	376.898	941	1.579	1.133	84.195
GO/DF/TO	1.551	205.919	1.584	305.811	941	10.100	1.008	127.498
Externa	1.255	-	1.382	-	866	-	861	-

Fonte: ANP.

A partir da função lucro desenvolvida por Pompermayer (2002), derivou-se uma nova função (Equação 10) para incluir as usinas de etanol. No caso das usinas de etanol, são considerados os custos de produção do combustível e os custos de transporte dos produtos de cada planta para os mercados demandantes, nesse caso, as taxas de conversão não são relevantes por tratar-se da produção de um único produto.

Para os *traders*, os custos de aquisição devem considerar os preços de compra de cada produto e os custos de transporte, e as restrições de taxa de conversão não são consideradas pois essas firmas já compram os derivados refinados.

Neste trabalho, considerou-se somente o etanol hidratado, utilizado no abastecimento dos veículos sem a necessidade de mistura com a gasolina. Não houve investigação com base na complementaridade entre os combustíveis, no caso, gasolina e etanol anidro. O modelo desenvolvido simula o equilíbrio parcial de preços, utilizando efeitos de substituição, por meio do uso das elasticidades cruzadas entre etanol hidratado e gasolina.

Equação 10:

$$\begin{aligned}
Lucro = & \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} pr^{pk} (q^{pk} + Q_{F-f}^{pk*}) * q^{pk} - \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{j \in J_f} ct_j^{pk} y_j^{pk} - \\
& - \left( \sum_{j \in J_f} \sum_{i \in C1} \left( (cp_i + ct_{ij}) * \sum_{om(i)=1}^{n_{om(i)}} x_{j,i,om(i)} \right) \right) \\
& + \sum_{j \in J_f} \sum_{i \in C2} \left( (pr_{i \in C2} + ct_{0j}) * \sum_{om(i)=1}^{n_{om(i)}} x_{j,i,om(i)} \right) \\
& - \sum_{j \in J_f} \sum_{i \in C1, C2} \sum_{om(i)} co_{j,i,om(i)} * x_{j,i,om(i)} + \\
& + \sum_{j \in J_f} \sum_{i \in C1} (pr_{iC1} - (cp_i + ct_{i0})) * x_i^e - \\
& - \sum_{u \in U} \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \left( (cp_u^p + ct_u^{pk}) \right) * e_u^k
\end{aligned}$$

O objetivo da otimização é maximizar o lucro:

*Lucro máximo = receita de vendas - custo produção e transporte + receita de exportação.*

Na aplicação desenvolvida, considerou-se que, sendo o mercado oligopolizado, a demanda é suprida por um número finito de firmas, representada pelo conjunto  $F$ . Com isso, considera-se que a função de preço utilizada deve levar em conta a produção da própria firma  $f$ ,  $q_f^{pk}$ , e o suprimento ótimo das demais firmas no mercado,  $Q_{F-f}^{pk*}$ , obtido da iteração anterior.

O primeiro termo da função objetivo (Lucro máximo) é a receita obtida com a venda de todos os produtos em todos os mercados -pelos refinarias, pelos *traders*, pelas usinas- menos os custos de transporte. O preço de cada produto  $p$  em cada sub-região  $k$  é uma função dependente da oferta total do produto nesta sub-região, definida pela oferta da empresa em análise e de todas as outras empresas no mercado.

O segundo termo é o custo de produzir todos os produtos refinados expressos como o custo de aquisição de petróleo bruto, seja de produção própria ou comprada no mercado global, incluindo o transporte do petróleo para cada refinaria, mais os custos operacionais de cada refinaria, que dependem do petróleo bruto e do modo operacional<sup>29</sup>. A diferença entre o primeiro e o segundo termo resulta no lucro obtido da produção e venda de produtos refinados.

O terceiro termo é o lucro obtido com a exportação de petróleo bruto, em vez de usá-lo nas próprias refinarias da empresa. O último termo representa os custos de aquisição e transporte das usinas que é o custo de produção e transporte do etanol para cada mercado.

Pode-se verificar, no Quadro 3, o detalhamento da notação utilizada na equação 10:

**Quadro 3** - Notação utilizada na equação 10.

Variável/ Parâmetro	Descrição da notação utilizada
$q^{pk}$	demanda para cada produto $p$ , $p \in P$ , em cada sub-região $k$ , $k \in K$ .
$pr^{pk}(q^{pk})$	função preço dependente da demanda total $q^{pk}$ para o produto $p$ na sub-região $k$ .
$q_f^{pk}$	quantidade do produto $p$ vendido na sub-região $k$ , por firma.
$Q_{F-f}^{pk*}$	quantidade do produto $p$ fornecido pelas outras firmas ( $\neq f$ ) para a sub-região $k$

<sup>29</sup> O modo operacional determina o percentual de conversão do óleo em determinado derivado. Neste trabalho, considerou-se que as firmas de refino produzem três tipos de derivados de petróleo: gasolina, óleo diesel e óleo combustível e funcionam em dois modos operacionais, 'máximo gasolina' e 'máximo diesel, para cada tipo de óleo.

Variável/ Parâmetro	Descrição da notação utilizada
$x_{j,i,om(i)}$	quantidade de óleo cru $i$ processado na refinaria $j$ no modo operacional $om(i)$ .
$y_j^{pk}$	quantidade do produto $p$ produzido na refinaria $j$ e despachado para sub-região de demanda $k$
$e_u^k$	quantidade do produto $p$ produzido na usina e despachado para sub-região de demanda $k$ .
$ct_j^{pk}$	custo de transportar o produto $p$ à sub-região $k$ .
$cp_i$	custo de produzir o óleo cru $i$ do grupo $CI$ .
$ct_{ij}$	custo de transporte do óleo $i$ para a refinaria $j$ .
$cp_u^p$	custo de produção do produto etanol para a usina $u$ .
$ct_u^{pk}$	custo de transportar o produto etanol à sub-região $k$
$pr_{ic2}$	preço CIF ( <i>Cost, Insurance and Freight</i> ) de aquisição dos quatro óleos no mercado.
$x_i^e$	quantidade de óleo cru $i$ vendido para o mercado internacional ou outras firmas, que não é processado nas refinarias
$n_{om(i)}$	número de modos operacionais para refino do óleo cru.
$r_{j,i,om(i)}^p$	taxa de conversão do óleo cru $i$ para produzir $p$ , processado na refinaria $j$ , usando o modo operacional $om(i)$ .
$R_j$	capacidade de processamento do óleo cru na refinaria $j$ .
$P_i$	capacidade de produção do óleo $i$ .
$s_{j,i,om(i)}^p$	quantidade de produto $p$ , na refinaria $j$ , usando o óleo cru $i$ no modo operacional $omi(i)$ .

Na resolução do problema de equilíbrio de oligopólio incluíram-se as restrições (11 a 16) para que as ofertas dos produtos finais estejam interligadas. Assim, a Equação 10 está sujeita às seguintes restrições:

- capacidade da refinaria (inequação 11):



$$\sum_{i \in C1, C2} \sum_{om(i)} x_{j,i,om(i)} \leq R_j, j \in J_f$$

- capacidade de produção do óleo cru i (inequação 12):

$$x_i^e + \sum_{j \in J_f} \sum_{om(i)} x_{j,i,om(i)} \leq R_j, i \in C1, C2,$$

- taxas de conversão (equação 13):

$$s_{j,i,om(i)}^p = x_{j,i,om(i)} * r_{j,i,om(i)}^p, j \in J_f, p \in P, i, om(i),$$

- conservação de fluxo (inequação 14):

$$\sum_{k \in K} y_j^{pk} = \sum_{i \in C1, C2} \sum_{om(i)}^{n_{om(i)}} s_{j,i,om(i)}^p, j \in J_f, p \in P$$

- conservação de fluxo (inequação 15)

$$\sum_{k \in K} y_j^{pk} = q_f^{pk}, p \in P, k \in K,$$

- não-negatividade (inequações 16):

$$x \geq 0, y \geq 0, s \geq 0, q \geq 0$$

O algoritmo utilizado resolve a equação (10) sujeita às restrições (11), (12), (13), (14), (15), e (16) para cada firma iterativamente, em que cada firma irá considerar constantes as estratégias de produção das outras firmas usando os resultados anteriores dos problemas de maximização de lucro.

O período de tempo considerado foi de curto prazo, por se assumir que não há aumento de capacidade para as firmas, somente as capacidades já instaladas são levadas em conta. Apenas os custos envolvidos nas atividades diárias de produção são levados em consideração, logo, o retorno sobre os investimentos, a depreciação e a amortização não são considerados, porque não afetarão a rentabilidade da empresa no curto prazo, uma vez que o capital já foi gasto.

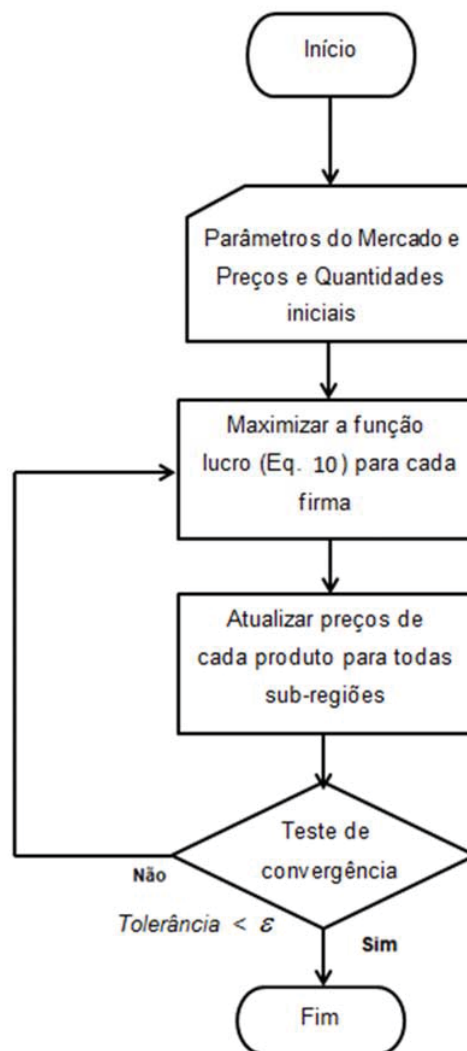
As restrições de taxa de conversão apresentadas na equação (13) estabelecem que, ao maximizar a produção de determinado derivado de alto valor, como a gasolina, produz-se também, certa quantidade de outros derivados. Já para os *traders* e para as usinas, o custo de produção poderá ser avaliado para cada produto separadamente. Isso é possível porque pode-se comprar apenas um derivado no mercado global, se um *trader* assim o desejar.

Considera-se que o bem produzido pelas firmas é um bem homogêneo. Isso significa que os consumidores não distinguem os bens produzidos por uma firma ou outra. Se os bens não fossem homogêneos, cada consumidor poderia ter várias curvas de demanda. Outra consideração é que os agentes econômicos são racionais; isso significa que um agente faz sempre o que ele julga melhor para si, ou seja, na prática o agente é otimizador. Dessa forma, as firmas devem escolher um nível ótimo de produção de forma a maximizar seus lucros.

## 4.2. Algoritmo para o equilíbrio de oligopólio no mercado de combustíveis

Para a solução do problema dado pela equação 10, utilizou-se um algoritmo baseado em iterações sequenciais. Assumiu-se que as funções de preço são lineares em função da quantidade  $q$ , dessa forma, as funções de receita geradas são quadráticas.

**Figura 7** - Fluxograma simplificado do algoritmo utilizado.



Fonte: Elaboração própria baseada em Pompermayer (2002).

Essa formulação considera que preço e demanda não são fixos em cada sub-região de demanda e que a demanda por cada produto em cada sub-região é dada por uma função, que depende dos preços de todos os produtos. Após o processo de otimização, efetuam-se correções nas funções preço iterativamente, para capturar efeitos cruzados, por meio da utilização das elasticidades cruzadas.

**Quadro 4** - Etapas do algoritmo de otimização.

**i. Início:** inicializa-se com os parâmetros de caracterização do mercado explicitados na equação 10 e dados históricos (valores de preço e quantidades iniciais para cada produto e sub-região, para cada firma). Faça  $it = 0$ .

**ii. Otimização:** O conjunto  $F$  contém as firmas  $f$ , os *traders*  $t$  e as usinas  $u$ . Resolveu-se a equação 10 para cada firma  $f \in F$  assumindo-se que o produto de todas as firmas menos a firma  $f$  é:

$$Q_{F-f}^{pk} = \sum_{g \in F, g=1}^{f-1} q_g^{pk}(it) + \sum_{g \in F, g=f+1}^{|F|} q_g^{pk}(it-1) \quad \forall p \text{ e } k. \quad (17)$$

**iii. Atualizar preços:** Após resolver a equação para cada firma, atualizam-se as funções de preço para cada produto  $p$  em cada mercado  $k$ , considerando os novos preços dos produtos  $q \neq p$  em todas as sub-regiões.

**iv. Teste de convergência:** Se a diferença entre a quantidade ótima obtida da última iteração em relação à anterior for menor que  $\varepsilon$  (valor de tolerância predefinido), para todas as firmas (refinadoras, *traders* e usinas), então pare. Caso contrário, faça  $it = it + 1$ , e volte ao início.

### 4.3 Utilização das elasticidades cruzadas dos produtos

O passo 3 do algoritmo para otimização foi realizado utilizando-se a expressão (18), conforme apresentado em Pompermayer (2002). Nesse caso, a função preço a ser considerada deve

levar em conta a produção própria da firma, bem como a oferta ótima das outras firmas no mercado. Essa expressão é a função inversa da demanda, portanto a função de preço linear, na forma  $P(Q) = aQ - b$ , com  $a$  e  $b > 0$ .

$$pr^{pk}(q_f^{pk}) = \frac{pr_0^{pk}}{d_0^{pk} \varepsilon_{kk}^{pp}} \cdot q_f^{pk} + \frac{pr_0^{pk}}{\varepsilon_{kk}^{pp}} \cdot \left( \varepsilon_{kk}^{pp} - 1 - \Delta pr^{q \neq p, k} + \frac{Q_{F-f}^{pk*}}{d_0^{pk}} \right), \forall p \text{ e } k \quad (18)$$

Assim, uma função de preço é obtida para cada produto  $p$  e sub-região  $k$ . O termo  $\varepsilon^{pp}$  é a elasticidade preço do produto  $p$ . Os termos  $pr_0^{pk}$  e  $d_0^{pk}$  são o preço conhecido e a demanda pelo produto  $p$  na sub-região  $k$ , em um determinado período de tempo.

O termo  $\Delta pr^{-pk}$ , definido na expressão 4.10, captura os efeitos nos preços entre os diferentes produtos, usando os preços obtidos na iteração anterior e as elasticidades de preço cruzadas  $\varepsilon^{pq}$  ( $q \neq p$ ).

$$\Delta pr^{-pk} = \sum_{q=1, q \neq p}^{n_p} \varepsilon^{pq} \frac{\Delta pr^{qk}}{pr_0^{qk}} \quad (19)$$

Em que,  $\Delta pr^{qk} = pr^{qk} - pr_0^{qk}$ .

Este mecanismo de iteração aliado à atualização dos preços a cada processo de otimização, com a utilização das elasticidades cruzadas, é fundamental para a análise do efeito do etanol sobre os derivados, tendo em vista o comportamento de substituição deste combustível.

#### 4.4. Cenários de simulação

Com o objetivo de responder à questão de pesquisa, foram simulados três cenários: com e sem elasticidade cruzada entre etanol e gasolina e com as elasticidades da gasolina iguais à do etanol. Para isso, foram utilizados os valores de elasticidade estimados em Sousa e Pompermayer<sup>30</sup>.

O referido estudo usou como dados de demanda os volumes consumidos de cada combustível informados pelas distribuidoras à ANP mensalmente, para cada município, que foram agregados por unidade da federação. Os preços foram estimados a partir do levantamento

de preços finais da ANP nas regiões metropolitanas. Trata-se de um dado amostral, mas que permite verificar as variações temporais dos preços de combustíveis. Para renda foi utilizado o PIB per capita por UF, em bases anuais, do IBGE. Devido ao dado de renda ser anual, os dados de consumo e preços foram também anualizados, chegando a uma série de 14 anos. As melhores estimativas das elasticidades preço direta e cruzada, e da elasticidade renda, foram obtidas com modelos em painel.

O valores de elasticidade utilizados estão apresentados nas **Tabela 4**, **Tabela 5** e **Tabela 6**. O terceiro passo do algoritmo de otimização, conforme **Figura 7**, atualiza os preços dos produtos utilizando as elasticidades direta e cruzada.

A elasticidade preço da demanda indica a porcentagem de variação na quantidade demandada de um bem que resulta de 1% de aumento em seu preço (PINDYCK e RUBINFELD, 2006). A elasticidade preço é em geral um número negativo, pois quando o preço do bem aumenta, se o bem for do tipo normal, a demanda por ele deve cair. Além disso, se a magnitude da elasticidade for maior que 1 a demanda é dita elástica ao preço, pois o percentual de redução da quantidade demandada é maior que o percentual de aumento do preço.

**Tabela 4** - Elasticidades preço para cenário com etanol como substituto da gasolina, conforme observado.

	gasolina	óleo diesel	óleo combustível	etanol
gasolina	-1,1465	0	0	0,2259
óleo diesel	0	-3,7695	0	0
óleo combustível	0	0	-3,7695	0
etanol	4,0888	0	0	-7,0530

Fonte: Souza e Pompermayer<sup>30</sup>.

A elasticidade de preço cruzada refere-se à variação percentual da quantidade demandada de uma mercadoria que resultará no aumento de um ponto percentual no preço de outro bem. Na **Tabela 4**, observa-se que a elasticidade cruzada da demanda da gasolina em relação a uma variação no preço do etanol possui uma magnitude de 4,0888 e o sinal positivo,

<sup>30</sup> SOUZA, J. G. M; POMPERMAYER, F. M. Estimativas de Elasticidades Preço direta e cruzada no mercado de combustíveis automotivos no Brasil. Relatório de Pesquisa, Ipea. Brasília, no prelo.

indicando que a gasolina é uma forte substituta do etanol. Por outro lado, apesar de serem substitutos, uma variação no preço da gasolina não acarreta um aumento superior a essa variação da quantidade demandada de etanol, cuja elasticidade cruzada é de 0,22259, ou seja, gasolina e etanol não são substitutos perfeitos.

**Tabela 5** - Elasticidades preço para o cenário sem substituição etanol-gasolina.

	gasolina	óleo diesel	óleo combustível	etanol
gasolina	-1.1988	0	0	0
óleo diesel	0	-3.7695	0	0
óleo combustível	0	0	-3.7695	0
etanol	0	0	0	-1.1988

Fonte: Souza e Pompermayer<sup>27</sup>.

No segundo cenário, nenhum dos produtos é considerado substituto e possuem demandas elásticas em relação a variações nos próprios preços. Em todos os cenários, tanto o diesel quanto o óleo combustível não são considerados substitutos da gasolina e do etanol por serem usados em aplicações distintas.

Observou-se, pelos valores apresentado na **Tabela 4** que etanol e gasolina não são substitutos perfeitos. Uma das possibilidades para que esse comportamento ocorra, de acordo com Rodrigues (2015), é que, como o rendimento médio dos veículos utilizando etanol hidratado representa 70% daquele verificado quando o mesmo motor é abastecido com gasolina, é natural que ocorra menor substituição entre os combustíveis adotados quando a relação de preços etanol/gasolina está muito acima desse valor.

Outra hipótese a ser considerada é a baixa oferta real de etanol em vários estados, que não o produzem ou estão muito distantes das usinas. Devido a esse comportamento, resolveu-se incluir um cenário hipotético adicional, em que as elasticidades da gasolina são iguais às do etanol, aumentando a força de substituição do etanol em relação à gasolina, e verificar o efeito dessa alteração nos preços e quantidades de equilíbrio dos produtos. Para isso, utilizaram-se os valores de elasticidades apresentados na **Tabela 6** a seguir.

**Tabela 6** - Elasticidades preço em que gasolina e etanol possuem as mesmas elasticidades.

	gasolina	óleo diesel	óleo combustível	etanol
gasolina	-7.0530	0	0	4,0888
óleo diesel	0	-3.7695	0	0
óleo combustível	0	0	-3.7695	0
etanol	4,0888	0	0	-7.0530

Fonte: Souza e Pompermayer<sup>27</sup>.



## 5 Apresentação e análise dos resultados

Nesta seção, apresentam-se os resultados do trabalho e a análise das simulações realizadas com alteração das elasticidades.

### 5.1 Modelo de oligopolio puro

Os dados utilizados na rotina de otimização estão detalhados no Apêndice I. Para as firmas refinadoras, os dados contemplam custos e capacidade de refino, taxas de conversão de cada óleo cru para cada derivado, dependendo do modo operacional. Consideraram-se sete tipos de petróleo, sendo três deles de produção nacional, da primeira firma refinadora, e os outros quatro disponíveis no mercado internacional.

Os quatro refinadores menores utilizam apenas o petróleo cru tipo um e o importado tipo quatro. O Brasil importa petróleo do tipo leve ( $\geq 31^\circ\text{API}$ ) para misturar ao petróleo nacional de modo a atender às especificações de seu parque de refino (MME, 2017).

Todas firmas de refino produzem três tipos de derivados de petróleo: gasolina, óleo diesel e óleo combustível e funcionam em dois modos operacionais, ‘máximo gasolina’ e ‘máximo diesel, para cada tipo de óleo.

Além de dados sobre as refinarias, há custos de aquisição e transporte de derivados e etanol para os *traders* e de produção, capacidade e transporte para o etanol. Cabe ressaltar, conforme já mencionado, que em 2015, os tributos federais estavam zerados para o etanol, como forma de política de subsídio ao combustível.

### 5.2 Comparação entre cenários com e sem elasticidades cruzadas

Nos cenários simulados, considera-se um mercado de oligopólio fechado, com um número fixo de firmas. Existem cinco firmas refinadoras, sendo que uma delas possui doze refinarias, dois *traders* de derivados, um *trader* de etanol e três usinas de etanol cujas plantas estão agregadas em regiões: Norte-Nordeste (AC, AL, AM, BA, CE, MA, PA, PE, PB, PI, RN, RO e SE), Centro-Sul Expansão (GO, MG, MS, MT e TO) e Centro-Sul Tradicional (SP, ES,

PR, RJ, RS e PR. O objetivo das firmas é de otimizar sua produção considerando as possíveis reações dos concorrentes.

**Tabela 7** – Capacidade de usinas e refinarias consideradas na análise por sub-região de demanda.

Sub-regiões de demanda	Etanol Hidratado		Derivados de Petróleo	
	m <sup>3</sup> /mês	%	m <sup>3</sup> /mês	%
PA/AP	10.200	0,15	0	0,00
AM/RR/RO/AC	9.060	0,13	219.000	1,56
MA/PI	59.280	0,84	0	0,00
CE/RN	34.200	0,49	213.000	1,52
PE/PB/AL	261.420	3,72	477.00	3,40
BA/SE	111.270	1,58	1.809.990	12,90
RJ/ES	79.650	1,13	1.266.780	9,03
MG	663.240	9,43	792.000	5,64
SP	3.340.800	47,50	7.104.600	50,63
RS	1.860	0,03	1.131.150	8,06
PR/SC	402.900	5,73	1.020.000	7,27
MS/MT	962.040	13,68	0	0,00
GO/DF/TO	1.097.400	15,60	0	0,00

Fonte: ANP (2019).

A **Tabela 8** apresenta demandas e preços iniciais e de equilíbrio da gasolina para os cenários em que o etanol e a gasolina não são considerados substitutos (elasticidade cruzada igual a zero) e quando esses dois produtos são considerados substitutos (elasticidade cruzada entre gasolina e etanol é diferente de zero). A partir dos dados, observou-se que houve um decréscimo marginal nos preços de todas as sub-regiões internas. Para essas sub-regiões, os preços médios da gasolina (ponderados pela quantidade) tiveram uma leve queda de 1,44% quando o etanol é considerado seu substituto.

A menor diminuição do preço foi de 0,82% na região AM/RR/RO/AC, cuja demanda equivale a cerca de 2% do total das regiões internas e possui 1,56% e 0,3% da capacidade de produção de derivados e etanol respectivamente, como pode-se observar na **Tabela 7**.

A demanda para a gasolina diminuiu em média 2,57% nas sub-regiões internas e a demanda total pelo produto caiu cerca de 2,52%. O excedente de gasolina foi despachado para a região externa, que teve um aumento de cerca de 7,82% na quantidade.

**Tabela 8** - Comparação demandas e preços iniciais e de equilíbrio para a gasolina.

Região	Demanda (m <sup>3</sup> )			Preços (R\$/m <sup>3</sup> )		
	Inicial	Sem Substituição	Com Substituição	Inicial	Sem Substituição	Com Substituição
PA/AP	48.588	39.360	38.494	1.536,00	1.779,34	1.755,05
AM/RR/RO/AC	63.390	48.816	48.263	1.489,00	1.774,57	1.760,00
MA/PI	45.723	37.357	36.372	1.530,00	1.763,53	1.734,71
CE/RN	93.207	74.686	72.783	1.517,00	1.768,45	1.740,29
PE/PB/AL	129.790	106.861	103.843	1.535,00	1.761,20	1.730,41
BA/SE	142.656	112.439	109.623	1.477,00	1.737,98	1.710,21
RJ/ES	317.083	254.959	248.745	1.480,00	1.721,88	1.697,35
MG	325.865	256.781	250.164	1.469,00	1.728,78	1.703,09
SP oeste	249.825	198.050	192.976	1.471,00	1.725,30	1.701,65
SP central	346.102	276.807	269.265	1.485,00	1.733,01	1.708,96
SP nordeste	519.152	417.221	406.983	1.485,00	1.728,22	1.703,35
RS	266.992	215.382	211.201	1.476,00	1.714,00	1.692,72
PR/SC	359.609	283.217	277.333	1.469,00	1.729,31	1.706,77
MS/MT	82.099	67.959	64.727	1.744,00	1.994,56	1.962,09
GO/DF/TO	205.919	165.180	159.814	1.551,00	1.806,96	1.778,31
Subtotal/Média	3.196.000	2.555.076	2.490.587	1.514,27	1.744,21	1.719,06
Externa	-	399.658	430.898	1.255,00	-	-
Total	3.196.000	2.954.734	2.921.485	-	-	-

A **Tabela 9** mostra as demandas de equilíbrio para a gasolina fornecidas pelas firmas de derivados. A Refinaria 1-Ref1 representa a Petrobras e suas doze refinarias consideradas na simulação, no cenário em que a elasticidade cruzada entre etanol e gasolina é diferente de zero. As demais refinarias (Ref2, Ref3, Ref4 e Ref5) representam as firmas de refino privadas, RioGrandense, Manguinhos, Univen e DaxOil, respectivamente. A firmas de importação de derivados, os *traders*, possuem os mesmos custos e não exportam, desse modo possuem a mesma configuração de fornecimento por sub-região interna.

**Tabela 9** - Demandas de equilíbrio para a gasolina - firmas de derivados.

Região	Demanda (m <sup>3</sup> )						
	Ref1	Ref2	Ref3	Ref4	Ref5	Trader1	Trader 2
PA/AP	12.192	0	0	0	0	13.151	13.151
AM/RR/RO/AC	16.044	0	0	0	0	16.109	16.109
MA/PI	10.907	0	0	0	0	12.732	12.732
CE/RN	23.255	0	0	0	0	24.764	24.764
PE/PB/AL	32.853	0	0	0	0	35.494	35.494
BA/SE	44.261	0	0	0	0	32.680	32.680
RJ/ES	99.384	0	6053	0	0	71.653	71.653
MG	111.317	0	771	0	0	69.037	69.037
SP oeste	86.533	0	0	1.731	0	52.355	52.355
SP central	118.047	0	0	1.673	0	74.772	74.772
SP nordeste	169.836	2.220	0	0	0	117.462	117.462
RS	86.190	6.679	0	0	0	59.166	59.166
PR/SC	109.419	421	0	0	0	83.746	83.746
MS/MT	25.964	977	51	2458	0	17.637	17.637
GO/DF/TO	69.342	0	0	3050	0	43.710	43.710
Subtotal/Média	1.015.544	10.297	6.875	6.776	0	724.466	724.466
Externa	406.713	4.131	11.205	8.847	0	-	-
Total	1.422.257	14.428	18.080	17.759	0	724.466	724.466
Market Share	40,95%	0,42%	0,28%	0,27%	0,00%	29,21%	29,21%

No equilíbrio, a firma Ref1 ficou com 40,95% do *Market Share* de refino da gasolina nas sub-regiões internas. As refinarias Ref2, Ref3 e Ref4 foram responsáveis por apenas 0,42, 0,28 e 0,27% do suprimento interno, respectivamente. A Ref5 não produziu gasolina. O cenário pareceu vantajoso para a importação, cada *trader* ficou com 29,21% da demanda interna da gasolina.

A **Tabela 10** apresenta demandas e preços iniciais e de equilíbrio para o etanol, para os cenários em que etanol e gasolina não são substitutos e quando esses dois produtos são considerados substitutos perfeitos. Para o etanol, observou-se também que houve uma queda nos preços do referido combustível, para todas as sub-regiões internas. Para essas sub-regiões, os preços médios do etanol, ponderados pelas quantidades demandadas, tiveram um decréscimo de 10,99% quando o etanol é considerado substituto da gasolina.

**Tabela 10** - Comparação demandas e preços iniciais e de equilíbrio para o etanol.

Região	Demanda (m³)			Preços (R\$/m3)		
	Inicial	Sem Substituição	Com Substituição	Inicial	Sem Substituição	Com Substituição
PA/AP	4.988	5.562	14.786	999,00	903,17	803,36
AM/RR/RO/AC	10.678	11.102	28.616	968,00	935,96	839,57
MA/PI	8.646	10.052	27.175	994,00	859,12	769,08
CE/RN	21.839	25.306	69.328	986,00	855,41	766,14
PE/PB/AL	42.410	50.048	135.942	997,00	847,22	758,83
BA/SE	50.065	58.012	161.369	960,00	832,88	745,27
RJ/ES	65.821	75.982	202.237	962,00	838,11	761,22
MG	161.873	186.774	518.076	955,00	832,45	745,27
SP oeste	191.592	217.315	600.265	956,00	848,93	753,78
SP central	265.427	302.841	836.001	965,00	851,53	755,25
SP nordeste	398.140	453.203	1.227.788	965,00	853,67	762,15
RS	15.160	16.500	43.487	959,00	888,28	786,57
PR/SC	167.084	185.126	503.142	955,00	868,98	772,27
MS/MT	84.195	104.627	306.585	1.133,00	903,64	790,83
GO/DF/TO	127.498	150.222	426.285	1.008,00	858,14	758,72
Subtotal/Média	1.615.416	1.852.672	5.101.082	984,13	854,88	760,95
Externa	-	736.647	712.420	861,00	-	-
Total	1.615.416	2.589.320	5.813.502	-	-	-

A maior diminuição observada do preço foi na região de MS/MT de cerca de 12,48%. Essa região conta com 36 usinas e possui 13,68% da capacidade de produção nacional de etanol

hidratado e não possui refinaria. Ainda para essa sub-região, cabe ressaltar que houve uma diminuição de 4,76% na demanda por gasolina e um aumento de 193,03% na demanda por etanol.

A demanda total para o etanol aumentou 183,77% nas sub-regiões internas. O excedente de etanol foi exportado. A produção para a região externa teve uma diminuição de cerca de 3,29% na quantidade despachada.

O *Market Share* observado está coerente com os dados apresentados no **Quadro 2**, que apresenta os principais estados produtores e compradores de etanol. A Usina 1 representa a região Norte-Nordeste, a Usina 2 representa a região Centro-Sul Expansão e a Usina 3 representa a região Centro-Sul Tradicional.

Inicialmente, o valor de aquisição do etanol no mercado externo, para o *Trader*, foi estimado em R\$ 990,00 por metro cúbico. Entretanto, somente se tornou vantajoso para o *Trader* adquirir o combustível, a partir de R\$ 600,00 por metro cúbico. Os resultados foram detalhados considerando esse último valor, para tornar a configuração do mercado mais realista, caso contrário não haveria importação do produto.

Pode-se observar na **Tabela 11**, que para o *Trader* não era viável despachar combustíveis para as sub-regiões AM/RR/RO/AC, RS e PR/SC. A primeira região possui alguma capacidade de produção de etanol e gasolina e possui altos custos de transporte. As outras sub-regiões fazem parte da região Centro-Sul Tradicional, que possui a maior capacidade de produção de etanol, além de haver menor custo de transporte para locais mais próximos, como as referidas sub-regiões de demanda.

**Tabela 11 -Demandas de equilíbrio para o etanol - Usinas e Trader.**

Região	Demanda (m³)			
	Usina 1	Usina 2	Usina 3	Trader.
PA/AP	3.049	6.278	3.476	1.982
AM/RR/RO/AC	6.285	14.738	7.591	0
MA/PI	6.443	9.239	5.048	6.442
CE/RN	19.452	17.176	11.026	21.672
PE/PB/AL	36.823	32.006	24.639	42.472
BA/SE	32.872	47.763	42.354	38.378
RJ/ES	28.695	67.156	81.133	25.251
MG	72.234	189.297	200.910	55.634
SP oeste	44.159	251.704	301.394	3.006
SP central	75.298	318.247	423.904	18.550
SP nordeste	110.993	453.434	609.709	53.650
RS	149	19.295	24.041	0
PR/SC	23.076	208.354	271.711	0
MS/MT	69.848	124.969	90.954	20.811
GO/DF/TO	76.105	184.592	114.654	50.931
Subtotal/Média	605.481	1.944.248	2.212.943	338.779
Externa	0	636.020	76.399	0
Total	605.481	2.580.268	2.288.943	338.779
Market Share	10,83%	32,23%	52,29%	4,65%

As tabelas 12, 13, 14 e 15 apresentam as demandas e preços de equilíbrio para o diesel e o óleo combustível. Conforme já mencionado, no caso das refinarias, a produção de um produto não é independente da produção dos demais. Na simulação, essa associação foi operacionalizada por meio das restrições das taxas de conversão, ao se maximizar a produção de determinado derivado de alto valor, como a gasolina, certa quantidade de outros derivados será produzida.

**Tabela 12 - Comparação demandas e preços iniciais e de equilíbrio para o diesel.**

Região	Demanda (m <sup>3</sup> )			Preços (R\$/m <sup>3</sup> )		
	Inicial	Sem Substituição	Com Substituição	Inicial	Sem Substituição	Com Substituição
PA/AP	156.352	123.319	123.319	1.532,00	1.617,87	1.617,87
AM/RR/RO/AC	176.836	119.930	119.930	1.494,00	1.621,54	1.621,54
MA/PI	121.500	104.044	104.044	1.502,00	1.559,25	1.559,25
CE/RN	121.143	104.586	104.586	1.504,00	1.558,53	1.558,53
PE/PB/AL	181.942	179.999	179.999	1.537,00	1.541,35	1.541,35
BA/SE	340.799	276.493	276.493	1.502,00	1.577,19	1.577,19
RJ/ES	406.652	324.426	324.426	1.495,00	1.575,19	1.575,19
MG	468.222	360.253	360.253	1.482,00	1.572,66	1.572,66
SP oeste	506.421	426.963	426.963	1.489,00	1.550,98	1.550,98
SP central	367.399	306.806	306.806	1.494,00	1.559,37	1.559,37
SP nordeste	547.867	457.551	457.551	1.494,00	1.559,34	1.559,34
RS	429.805	359.040	359.039	1.482,00	1.546,73	1.546,73
PR/SC	717.520	597.126	597.125	1.488,00	1.554,24	1.554,24
MS/MT	376.898	350.673	350.673	1.813,00	1.846,47	1.846,47
GO/DF/TO	305.811	261.070	261.070	1.584,00	1.645,48	1.645,48
Subtotal/Média	5.225.167	4.352.276	4.352.276	1.526,13	1.591,11	1.591,11
Externa	-	499.601	499.602	1.255,00	-	-
Total	5.225.167	4.851.879	4.851.878	-	-	-

Observou-se que não houve mudança entre os cenários, com a alteração nos valores de elasticidade cruzada entre etanol e gasolina. O diesel apresentou um preço médio de 1.591,11 reais/m<sup>3</sup>, sendo que o maior preço, 1.846,47 reais/m<sup>3</sup>, ocorreu na região MS/MT. Ou seja, apesar da alteração da elasticidade de substituição na oferta, e com isso, a maior pressão competitiva sofrida pela gasolina não afetou a oferta e os preços de equilíbrio dos demais derivados de petróleo no mercado interno. Tal resultado se deve, provavelmente, à possibilidade de exportar qualquer excedente de produção dos derivados.



**Tabela 13** - Demandas de equilíbrio para o diesel - firmas de derivados.

Região	Demanda (m <sup>3</sup> )						
	Ref1	Ref2	Ref3	Ref4.	Ref5.	Trader1	Trader 2
PA/AP	93.607	0	0	0	0	14.855	14.855
AM/RR/RO/AC	104.381	0	0	0	0	7.773	7.773
MA/PI	78.333	0	0	0	0	12.855	12.855
CE/RN	104.585	0	0	0	0	0	0
PE/PB/AL	178.941	0	0	0	0	528	528
BA/SE	276.492	0	0	0	0	0	0
RJ/ES	310.133	0	5.424	0	0	4.433	4.433
MG	360.253	0	0	0	0	0	0
SP oeste	426.963	0	0	0	0	0	0
SP central	306.806	0	0	0	0	0	0
SP nordeste	457.550	0	0	0	0	0	0
RS	350.930	8108	0	0	0	0	0
PR/SC	597.125	0	0	0	0	0	0
MS/MT	308.391	7453	0	222	0	17.212	17.212
GO/DF/TO	261.069	0	0	0	180	0	0
Subtotal/Média	4.215.561	15.561	5.424	222	0	57.656	57.656
Externa	499.602	0	0	0	0	-	-
Total	4.715.163	15.561	5.424	222	180	57.656	57.656
Market Share	96,86%	0,36%	0,12%	0,01%	0,00%	1,32%	1,32%

A **Tabela 13** apresenta a quantidade de diesel fornecida por cada firma de derivado. Cerca de 96,86% da demanda foi atendida pela firma 1 – Ref1, representada pela Petrobras e suas doze refinarias (as que foram consideradas na simulação), e somente houve exportação de derivados pela firma Ref1, as outras refinarias (Ref2, Ref3, Ref4 e Ref5) direcionaram sua produção para o mercado interno.

As taxas de conversão para cada refinaria foram estimadas a partir do histórico de produção de cada combustível e, portanto, os resultados da produção originada por cada refinaria estão coerentes com essas restrições.

Os dois *Traders* forneceram apenas 2,64% do suprimento total, de forma que provavelmente os preços de aquisição e de transporte do combustível não estavam vantajosos.

Assim como para o diesel, observou-se que não houve mudança para o óleo combustível, entre os cenários, com a alteração nos valores de elasticidade cruzada entre etanol e gasolina. O óleo combustível apresentou um preço médio de 974,04 reais/m<sup>3</sup>, sendo que o maior preço, 1.050,47 reais/m<sup>3</sup>, ocorreu na região PA/AP.

**Tabela 14** - Comparação demandas e preços iniciais e de equilíbrio para o óleo combustível.

Região	Demanda (m <sup>3</sup> )			Preços (R\$/m <sup>3</sup> )		
	Inicial	Sem Substituição	Com Substituição	Inicial	Sem Substituição.	Com Substituição.
PA/AP	13.457	7.556	7.556	941,00	1.050,48	1.050,48
AM/RR/RO/AC	8.605	4.494	4.494	941,00	1.060,26	1.060,26
MA/PI	2.405	1.521	1.521	941,00	1.032,71	1.032,71
CE/RN	540	318	318	941,00	1.043,63	1.043,63
PE/PB/AL	2.081	1.356	1.356	941,00	1.028,00	1.028,00
BA/SE	5.362	3.971	3.971	941,00	1.005,76	1.005,76
RJ/ES	22.523	21.236	21.236	941,00	955,27	955,27
MG	30.285	27.683	27.683	941,00	962,45	962,45
SP oeste	24.224	21.928	21.928	941,00	964,67	964,67
SP central	21.767	19.567	19.567	941,00	966,24	966,24
SP nordeste	27.208	24.804	24.804	941,00	963,06	963,06
RS	8.624	8.224	8.224	941,00	952,57	952,57
PR/SC	14.239	12.909	12.909	941,00	964,32	964,32
MS/MT	1.579	508	508	941,00	1.110,27	1.110,27
GO/DF/TO	10.100	6.981	6.981	941,00	1.018,09	1.018,09
Subtotal/Média	192.999	163.056	163.056	941,00	974,04	974,04
Externa	0	255.272	255.272	866,00	-	-
Total	192.999	418.328	418.328	-	-	-

**Tabela 15** - Demandas de equilíbrio para o óleo combustível- firmas de derivados.

Região	Demanda (m <sup>3</sup> )						
	Ref1	Ref2	Ref3	Ref4.	Ref5.	Trader1	Trader 2
PA/AP	4.777	1.700	1.077	0	0	0	0
AM/RR/RO/AC	2.942	974	576	0	0	0	0
MA/PI	707	157	46	0	0	304	304
CE/RN	196	73	48	0	0	0	0
PE/PB/AL	790	282	218	0	0	31	31
BA/SE	3.327	446	197	0	0	0	0
RJ/ES	11.859	3.442	5.933	0	0	0	0
MG	20.301	2.015	5.365	0	0	0	0
SP oeste	16.470	3.095	707	0	1.654	0	0
SP central	14.025	3.828	1.000	0	712	0	0
SP nordeste	15.762	5.862	3.179	0	0	0	0
RS	4.820	2.848	555	0	0	0	0
PR/SC	8.629	2.692	1.586	0	0	0	0
MS/MT	508	0	0	0	0	0	0
GO/DF/TO	6.245	668	0	0	67	0	0
Subtotal/Média	111.358	28.082	20.487	0	0	335	335
Externa	251.860	3.411	0	0	2.433	-	-
Total	363.218	31.493	20.487	0	2.433	335	335
Market Share	68,45%	17,26%	12,59%	0	1,50%	0,10%	0,10%

A **Tabela 15** apresenta a quantidade de óleo combustível fornecida por cada firma de derivado. O mercado interno foi praticamente atendido pelas refinarias Ref1, Ref2, Ref3. Cerca de 68,45% da demanda foi atendida pela firma 1 – Ref1, representada pela Petrobras e suas doze refinarias e somente houve exportação de derivados pelas firmas Ref1, Ref2 e Ref3. Verificou-se também que para os *traders* não foi vantajoso importar óleo combustível.

### 5.3 Gasolina e etanol com as mesmas elasticidades

As tabelas 16 e 17 apresentam os resultados para o cenário em que etanol e gasolina possuem os mesmos valores de elasticidade.

**Tabela 16** - Comparação de demandas e preços de equilíbrio para gasolina e etanol.

Região	Demanda (m³)		Preço (R\$/m³)	
	Gasolina	Etanol	Gasolina	Etanol
PA/AP	40.674	10.953	1.362,03	764,03
AM/RR/RO/AC	45.027	21.703	1.390,77	789,27
MA/PI	37.569	20.280	1.333,39	730,31
CE/RN	70.042	52.231	1.336,15	723,30
PE/PB/AL	110.448	102.140	1.316,20	715,52
BA/SE	111.699	118.922	1.293,95	703,83
RJ/ES	246.221	150.830	1.313,99	723,29
MG	231.195	386.142	1.308,17	706,79
SP oeste	194.668	455.424	1.289,57	700,99
SP central	275.932	631.663	1.295,62	704,87
SP nordeste	424.813	920.032	1.301,64	716,57
RS	211.984	33.642	1.318,17	733,78
PR/SC	263.904	386.790	1.313,35	718,29
MS/MT	59.356	232.659	1.466,44	745,20
GO/DF/TO	155.684	317.758	1.345,26	717,21
Subtotal/Média	2.479.218	3.841.171	1.315,57	714,48
Externa	297.519	719.776	-	-
Total	2.776.736	4.560.947	-	-

Observa-se na **Tabela 17** que houve diminuição significativa entre os preços de equilíbrio, quando comparados ao cenário em que a elasticidade cruzada entre etanol e gasolina é nula. Em média, o preço da gasolina diminuiu cerca de 24,47% e o preço do etanol, cerca de 16,05%. Para diesel e óleo combustível, não houve mudança. Observa-se, ainda que, 10,71% do suprimento de gasolina foi direcionado ao mercado internacional, uma redução de 2,81% do

cenário em que a elasticidade cruzada entre etanol e gasolina é nula. Enquanto 15,78% do etanol foi direcionado ao mercado internacional, uma diminuição de 12,67% para o mesmo cenário.

## 5.4 Comparação entre preços médios

Outro teste realizado, foi de aumento no número de *traders* de etanol com vistas a observar se essa alteração produz algum efeito nos preços de equilíbrio. O Quadro 5 apresenta a configuração do mercado para cada cenário.

**Quadro 5** - Configurações da simulação.

Cenários	Configuração				
	Elasticidades	Refinadoras	<i>Traders</i> derivados	Usinas	<i>Traders</i> Etanol
Cenário 1	Sem cruzadas	5	2	3	1
Cenário 2	Com cruzadas	5	2	3	1
Cenário 3	Com cruzadas	5	2	3	2
Cenário 4	Com cruzadas	5	2	3	3
Cenário 5	Iguais	5	2	3	1

Pode-se observar por meio da **Tabela 17**, que a diminuição de preço ocasionada pelo aumento do número de *traders* de etanol foi bem marginal. Em compensação, um melhor resultado seria obtido se o etanol e a gasolina possuísem a mesma força de substituição.

**Tabela 17** - Comparação dos preços médios ponderados pela quantidade para cada cenário.

	Preços médios (R\$/m <sup>3</sup> )			
	Gasolina	Diesel	O. Combustível	Etanol
Cenário 1	1.744,21	1.591,11	974,04	854,88
Cenário 2	1.719,08	1.591,11	974,04	760,95
Cenário 3	1.717,30	1.591,11	974,04	753,20
Cenário 4	1.716,24	1.591,11	974,04	748,70
Cenário 5	1.315,57	1.591,11	974,04	714,48

Depreende-se dos resultados que o etanol hidratado não foi capaz de provocar uma diminuição substancial de preços da gasolina, no elo do refino. Ressaltando que a política que zerou os tributos federais no ano de 2015 foi considerada, incluindo-se um subsídio nos custos de produção do biocombustível.

## 6 Conclusões

O objetivo desta dissertação foi verificar se o uso do etanol proporcionado pelo desenvolvimento dos motores flexíveis contribui para aumentar a concorrência no refino da cadeia produtiva do mercado de combustíveis, a partir de um modelo de equilíbrio espacial de preços com oligopólio. A hipótese levantada é que, mesmo com o poder de mercado da Petrobras, espera-se que o etanol como substituto da gasolina, gere algum efeito de competição no mercado de refino. Esse efeito pode ser observado por meio da diminuição de preços dos derivados, na refinaria, quando alcançado o equilíbrio de preços estimado num modelo de oligopólio.

De modo a alcançar o objetivo estabelecido, caracterizou-se o problema de equilíbrio mediante a definição de suas variáveis, de suas restrições e das condições de equilíbrio associadas aos agentes envolvidos. De posse dessas informações, atualizou-se o modelo utilizado em Pompermayer (2002) com dados recentes, e incluiu-se o etanol como substituto da gasolina.

Em seguida, implementou-se a rotina de otimização de lucro para a configuração de mercado contendo cinco firmas refinadoras de derivados, dois *traders* de importação de derivados, três usinas, que agrupam as plantas de produção espalhadas no Brasil e um *trader* de importação de etanol. Por fim, avaliou-se o comportamento do modelo proposto para os casos em que etanol e gasolina possuem elasticidades cruzadas iguais a zero, diferentes entre si e não-nulas, e elasticidades diretas e cruzadas iguais entre si.

De modo geral, como resultado da introdução do etanol como substituto da gasolina, observou-se uma redução marginal dos preços de equilíbrio da gasolina e nenhuma alteração nos preços do diesel e do óleo combustível, em relação à situação do cenário em que as elasticidades cruzadas entre gasolina e etanol foram nulas. Esse comportamento parece decorrer do fraco efeito de substituição que o etanol provoca no mercado de derivados e deve ser levado em conta na elaboração de políticas públicas com desdobramentos nos campos econômico e ambiental. Como simulação, avaliou-se um cenário em que a elasticidade de substituição da gasolina em relação ao preço do etanol fosse elevada, como é a do etanol em relação ao preço da gasolina. Nesse cenário, há razoável pressão sobre os preços da gasolina, mas nulo sobre os demais derivados.

Como propostas de aprimoramentos, pode-se incluir o açúcar e o etanol anidro na equação de maximização das firmas. Entretanto, conforme já mencionado em relação ao açúcar,

não se esperam resultados muito diferentes dos apresentados, devido, em alguma medida, à baixa flexibilidade de conversão entre etanol e açúcar pelas usinas sucroalcooleiras e à baixa pressão concorrencial observada nos cenários simulados. Em relação à inclusão do etanol anidro na análise, sugere-se verificar o estudo feito por Nagurney et al. (2010), cujo modelo contempla, além da cadeia de produção, o elo de distribuição, onde ocorre a mistura para a formação da gasolina C no caso do mercado de combustíveis brasileiro. Nesse cenário, deve-se considerar tanto os elos de produção e refino quanto o de distribuição de combustíveis.

## 7 Referências Bibliográficas

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Diagnóstico da concorrência na distribuição e revenda de combustíveis automotivos**: 2016. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/livros-e-revistas/2382-diagnostico-da-concorrenca-na-distribuicao-e-revenda-de-combustiveis-automotivos>>. Acesso em: 29 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: 2018**. Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/anuario-estatistico/2018/textos/Secao4.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **Nota Técnica nº 068/SDR**. Rio de Janeiro, 2018b. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/images/Consultas\\_publicas/2018/n20/5.nota-tecnica.pdf](http://www.anp.gov.br/images/Consultas_publicas/2018/n20/5.nota-tecnica.pdf)>. Acesso em: 29 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Comércio Exterior da ANP: Nº 06**. Rio de Janeiro, 2018c. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/images/Importacao\\_Exportacao/Relatorios/Comercio\\_Exterior/Relatorio\\_de\\_Comercio\\_Exterior\\_n06.pdf](http://www.anp.gov.br/images/Importacao_Exportacao/Relatorios/Comercio_Exterior/Relatorio_de_Comercio_Exterior_n06.pdf)>. Acesso em: 16 out. 2018.

\_\_\_\_\_. **Tendências e Desafios de Mercado no Downstream. In:** Búzios: Cenário Atual e Perspectivas para o Mercado de Combustível no Brasil, 2018d. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/images/Palestras/buzios-2018/2.felipe-kury.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2018.

CADE – CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONOMICA. **Varejo de gasolina**. In: Cadernos do CADE. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.cade.gov.br/aceso-a-informacao/publicacoes-institucionais/dee-publicacoes-anexos/cadernos-do-cade-varejo-de-gasolina.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2018.

\_\_\_\_\_. **Repensando o Setor de Combustíveis: medidas pró-concorrência**. In: Contribuições do CADE. Brasília, 2018a. Disponível em: <[http://www.cade.gov.br/aceso-a-informacao/publicacoes-institucionais/contribuicoes-do-cade/contribuicoes-do-cade\\_medidas-28maio2018-final.pdf/view](http://www.cade.gov.br/aceso-a-informacao/publicacoes-institucionais/contribuicoes-do-cade/contribuicoes-do-cade_medidas-28maio2018-final.pdf/view)>. Acesso em: 16 out. 2018.

\_\_\_\_\_. **Nota Técnica nº 37/2018/DEE/CADE**. Brasília, 2018b. Disponível em: <[https://sei.cade.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md\\_pesq\\_documento\\_consulta\\_externa.php?DZ2uWeaYicbuRZEFhBt-n3BfPLlu9u7akQAh8mpB9yOvXtFuofnvEDJMUE2bECDIcsXLn3\\_3O1BaKKKP2dJM2\\_jmQjySxCBKwVF6JwhI4THW2\\_9EBnKs47TPvnK9qegN](https://sei.cade.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?DZ2uWeaYicbuRZEFhBt-n3BfPLlu9u7akQAh8mpB9yOvXtFuofnvEDJMUE2bECDIcsXLn3_3O1BaKKKP2dJM2_jmQjySxCBKwVF6JwhI4THW2_9EBnKs47TPvnK9qegN)>. Acesso em: 09 dez. 2018.

CARDOSO, L.C. B.; BITTENCOURT, M. V. L. **Mensuração das elasticidades-preço da demanda, cruzada e renda no mercado de etanol brasileiro: um estudo usando painéis cointegrados**. In: Rev. Econ. Sociol. Rural. Brasília, 2013. Disponível em:



<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-20032013000400008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032013000400008&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 06 nov. 2019.

CHURCH, J.; WARE, R. **Industrial organization: a strategic approach**. Irwin McGrawHill press. pp. 423–456, 2000.

COLETI, J. C. **Transporte e intermodalidade do etanol brasileiro: uma aplicação de um modelo de equilíbrio parcial**. Universidade de Campinas, 2015.

CORE TEAM. **The Economy: Economics for a Changing World. First Edition**. Oxford University press. Disponível em: <<http://www.core-econ.org/the-economy/>>. Acesso em: 20 out. 2018.

COSTA, C.C.; BURNQUIST, H.L. **Impactos do controle do preço da gasolina sobre o etanol biocombustível no Brasil**. In: Revista de Estudos Econômicos. São Paulo, 2016.

COURNOT, A. A. **Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth**. London, NY, MacMillan, 1838.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Série Estudos da Demanda de Energia: Demanda de Energia 2050**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 14 out. 2018.

\_\_\_\_\_. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília, 2017.

\_\_\_\_\_. **Matriz energética e elétrica**. [s.l.], [2019]. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em 24 ago. 2019.

EQUIPE DE PROFESSORES DA USP. **Manual de Economia**. São Paulo, 2005.

FARINA, E.; RODRIGUES, L.; SOUSA, E. L. de. A. **Política de Petróleo e a Indústria de Etanol no Brasil**. In: Revista Interesse Nacional. São Paulo, 2013.

FREITAS, G. P. **Regimes de concorrência imperfeita: o regime de Cournot e o equilíbrio de Cournot-Nash**. Universidade de Brasília, 2003.

FREITAS, W. R. S.; JABOUR, C. **Utilizando Estudo de Caso (s) como Estratégia de Pesquisa Qualitativa : Boas Práticas e Sugestões**. In: ESTUDO & DEBATE. Lajeado, 2011. Disponível em: <https://www3.ufpe.br/moinhojuridico/images/ppgd/8.12a%20estudo%20de%20caso.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2017

GAMA, P. -M. B.; Widmer, J. -A. **Avaliação econômica e energética da distribuição direta do etanol hidratado no estado de São Paulo**. In: Revista TRANSPORTES, 2015.

GOMES, A. –M. T. L. **Metodologia de avaliação e planejamento parlamentar: um estudo de caso sobre o seu impacto na elaboração de políticas públicas.** In: Revista de Informação Legislativa, 2017. Disponível em:

<[http://www12.senado.leg.br/ril/edicoes/54/215/ril\\_v54\\_n215\\_p179](http://www12.senado.leg.br/ril/edicoes/54/215/ril_v54_n215_p179)>. Acesso em: 10 nov. 2017.

HARKER, P. T. **Alternative Models of Spatial Competition.** In: Operations Research 34, 1985.

JESUS JUNIOR, L. B.; SARTI, F.; FERREIRA JUNIOR, H. M. **Petrobras, política de conteúdo local e maximização de valor para o acionista: uma sugestão de interpretação.** Campinas, 2017. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-06182017000200369&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-06182017000200369&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 13 ago. 2019.

KUPFER ,D.; HASENCLEVER, L. **Economia Industrial: Fundamentos Teóricos e Práticas no Brasil.** Rio de Janeiro, 2002.

MARCOTTE, P. **Algorithms for the Network Oligopoly Problem.** In: Journal of Operation Research Society, 1987. Disponível em: <[http://www.iro.umontreal.ca/~marcotte/ARTIPS/1987\\_JORS.pdf](http://www.iro.umontreal.ca/~marcotte/ARTIPS/1987_JORS.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2018.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, AGROPECUÁRIA e ABASTECIMENTO. **Produção Brasileira de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Etanol.** Brasília, 2019. Disponível em: <[https://www.udop.com.br/download/estatistica/acucar\\_producao/12ago19\\_producao\\_brasileira\\_cana\\_acucar\\_etanol.pdf](https://www.udop.com.br/download/estatistica/acucar_producao/12ago19_producao_brasileira_cana_acucar_etanol.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2019.

**MORE: Mecanismo online para referências.** Florianópolis, 2013. Disponível em: <<http://www.more.ufsc.br/>>. Acesso em: 15 out. 2018.

PINTO JÚNIOR, H. Q. et al. **Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2007.

NAGURNEY, A. **Network Economics – A variational inequality Approach.** Revised Second Edition. Kluwer Academic Publishers. Boston, 1999.

\_\_\_\_\_. **Supply chain network design under profit maximization and oligopolistic competition.** In: Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2010.

NAGURNEY, A.; LI, D.; NAGURNEY, L. S. **Spatial price equilibrium with information asymmetry in quality and minimum quality standards.** In: International Journal of Production Economics, 2014.

LI, D.; NAGURNEY, A.; YU, M. **Consumer learning of product quality with time delay: Insights from spatial price equilibrium models with differentiated products.** Omega (United Kingdom), 2018.

PECEGE - PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ECONOMIA E GESTÃO DE EMPRESAS. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil: fechamento da safra 2014/2015 e acompanhamento da safra 2015/2016.** Piracicaba (SP), 2015.

PÉRA, T.G.; CAIXETA-FILHO, J.V. **Pensando a logística do etanol como um combustível nacional. Série: Logística do Agronegócio – Desafios e Oportunidades.** In: Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG). Piracicaba (SP), 2018.

PEREIRA, G.; ALBRECHT, A. J.; FAUSTO, D.; MIGLIAVACCA, R. **Custo de produção de cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul.** In: Revista Ipecege, 2014. Disponível em: <<https://revista.ipecege.com/Revista/article/view/5>>. Acesso em: 11 jun. 2019.

PINDYCK, R.S.; RUBINFELD, D.L. **Microeconomia.** São Paulo, 2006.

POMPERMAYER, F. M. **Modelos de Equilíbrio Espacial de Preços para o Mercado Oligopolizado de Derivados de Petróleo Brasileiro.** Puc Rio, Rio de Janeiro, 2002.

RODRIGUES, L. **Políticas públicas e os determinantes da demanda por combustíveis leves no Brasil, 2003-2013.** Universidade de São Paulo, 2015.

SATOLO, L. F.; FILHO, J.V.C. **Impacto de novas usinas e destilarias na distribuição de etanol hidratado da região centro-oeste.** ESALQ/USP, Piracicaba (SP), 2009.

SEAE - SECRETARIA DE ACOMPANHAMENTO ECONÔMICO. **Cartilha de Promoção à Concorrência.** Ministério da Fazenda, Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br/centrais-de-conteudos/publicacoes/cartilhas/arquivos/cartilha-promocao-a-concorrencia.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2018.

SOUZA, J. G. M. ; POMPERMAYER, F. M. **Variações no Preço do Etanol em Comparação ao Preço da Gasolina: uma análise da resposta do consumidor.** In: Radar: Tecnologia, produção e comércio exterior, IPEA, Brasília, 2015. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/radar/150630\\_radar\\_39.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/radar/150630_radar_39.pdf)>. Acesso em: 03 nov. 2018.

SOUZA, J. G. M. ; POMPERMAYER, F. M. **Estimativas de Elasticidades Preço direta e cruzada no mercado de combustíveis automotivos no Brasil.** Relatório de Pesquisa, Ipea, Brasília, no prelo.

## APÊNDICE I

A Tabela 18 a seguir, apresenta os dados gerais utilizados em todas as simulações de maximização de lucro de cada firma.

**Tabela 18** - Dados sobre petróleos estimados para abril/2015.

Petróleo cru <i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7
Est/região	RJ/ES/SP/PR	NE	AM	Argentina	Venezuela / Colômbia	Oriente Médio	Argélia/Nigéria
cap. prod abr/01(m <sup>3</sup> )	15.000.000	950.000	250.000	400.000	5.000.000	20.000.000	5.000.000
API médio <sup>31</sup>	26,9	34,44	45,6	50/45/36,7	24,5	37,7	34,9
custo prod./Pr CIF R\$/m <sup>3</sup>	150,44	82,06	123,09	1.173,00	1.022,97	1080,93	1.142,31
Pr. venda FOB (R\$/m <sup>3</sup> )	426,14	447,45	511,35	1.173,00	1.022,97	1080,93	1.142,31

Fonte: Pompermayer (2002) e ANP.

**Tabela 19** - Capacidade nominal por refinaria.

Refinarias	Capacidade nominal	
	(m <sup>3</sup> /dia)	(m <sup>3</sup> /mês)
RECAP(SP) -1	10.000	3.000.000
REDUC (RJ) -2	40.000	1.200.000
REFAP (RS) -3	35.000	1.050.000
REGAP (MG) -4	26.400	792.000
REMAN (AM) -5	7.300	219.000
REPAR (PR) -6	34.000	1.020.000
REPLAN (SP) -7	69.000	2.070.000
REVAP (SP) -8	40.000	1.200.000
RLAM (BA) -9	60.000	1.800.000
RPBC (SP) -10	27.000	810.000
RNEST (PE) - 11	15.900	477.000
Clara Camarão (RN) -12	7.100	213.000
Ref2 - RioGrandense (RS)-13	2.705	81.150
Ref3 - Manguinhos (RJ) -14	2.226	66.780
Ref4 - Univen-15	820	24.600
Ref5 - DaxOil-11	333	9.990

Fonte: ANP.

<sup>31</sup> São considerados óleos leves aqueles cujo grau API  $\geq 31$ , aqueles cujo grau API são  $\geq$  e  $< 31$  API) e os pesados, cujo API for  $< 22$ .

**Tabela 20-** Custos de transporte para a gasolina (R\$/m³). Atualizados para abril de 2015.

Gasolina	Ref1															Ref2					Ref3		Ref4	Ref5
	RECAP	REDUC	REFAP	REGAP	REMAN	REPAR	REPLAN	REVAP	RLAM	RPBC	RNEST	RPCC	RPR	Manguinhs	Univen	DaxOil								
PA/AP	179,03	171,57	179,03	198,92	116,62	179,03	198,92	191,46	161,62	179,03	292,29	341,03	179,03	171,57	201,47	201,47								
AM/RR/RO/AC	191,46	184,00	191,46	211,35	56,44	191,46	211,35	203,89	174,05	191,46	304,72	353,46	191,46	184,00	214,03	214,03								
MA/PI	176,54	169,08	176,54	196,43	120,84	176,54	196,43	188,97	159,14	176,54	289,80	338,54	176,54	169,08	196,43	196,43								
CE/RN	171,07	162,87	170,33	190,22	124,32	170,33	190,22	183,50	155,41	171,07	286,07	334,81	170,33	162,87	190,22	190,22								
PE/PB/AL	151,68	144,22	155,41	171,57	149,19	151,68	171,57	164,11	130,54	151,68	261,21	309,95	155,41	144,22	171,57	171,57								
BA/SE	146,70	139,24	146,70	166,60	174,05	146,70	166,60	159,14	37,30	146,70	167,96	216,71	146,70	139,24	166,60	166,60								
RJ/ES	79,57	37,30	82,05	64,65	184,00	82,05	101,95	92,00	139,24	79,57	269,91	318,65	82,05	37,30	101,95	101,95								
MG	106,92	64,65	109,41	37,30	211,35	109,41	87,03	87,03	166,60	106,92	297,26	346,00	109,41	64,65	87,03	87,03								
SP oeste	59,68	101,95	96,97	129,30	211,35	96,97	37,30	47,24	166,60	59,68	297,26	346,00	96,97	101,95	37,30	37,30								
SP central	49,73	99,46	87,03	126,81	208,87	87,03	47,24	37,30	164,11	49,73	294,77	343,52	87,03	99,46	47,24	47,24								
SP nordeste	37,30	79,57	74,59	106,92	188,97	74,59	59,68	49,73	144,22	37,30	274,88	323,63	74,59	79,57	59,68	59,68								
RS	74,59	82,05	37,30	109,41	191,46	82,05	96,97	87,03	146,70	74,59	277,37	326,11	37,30	82,05	96,97	96,97								
PR/SC	74,59	82,05	82,05	109,41	191,46	37,30	96,97	87,03	146,70	74,59	277,37	326,11	82,05	82,05	96,97	96,97								
MS/MT	283,46	325,73	320,76	261,08	435,14	320,76	261,08	271,03	390,38	283,46	521,05	569,79	320,76	325,73	261,08	261,08								
GO/DF/TO	125,20	167,47	162,49	161,62	276,87	162,49	102,82	112,76	232,11	125,20	362,78	411,52	162,49	167,47	102,82	102,82								
Externa	190,44	185,29	195,59	212,65	128,68	195,59	212,82	202,87	159,56	190,44	290,22	338,97	195,59	185,29	212,82	212,82								

Fonte: Pomper Mayer(2002).

**Tabela 21- Custos de transporte para a óleo diesel e óleo combustível (R\$/m³). Atualizados para abril de 2015.**

Óleo Diesel e Combustível	Refl														Ref2		Ref3		Ref4	Ref5
	RECAP	REDUC	REFAP	REGAP	REMAN	REPAR	REPLAN	REVAP	RLAM	RPBC	RNEST	RPCC	RPR	Manguinhos	Univen	DaxOil				
PA/AP	187,98	180,15	187,98	208,87	122,46	187,98	208,87	201,03	169,70	187,98	382,71	433,85	187,98	180,15	211,54	169,70				
AM/RR/RO/AC	201,03	193,20	201,03	221,92	59,28	201,03	221,92	214,09	182,76	201,03	532,35	583,49	201,03	193,20	221,92	182,76				
MA/PI	185,37	177,54	185,37	206,26	126,89	185,37	206,26	198,42	167,09	185,37	183,91	235,05	185,37	177,54	206,26	167,09				
CE/RN	179,62	171,02	178,85	199,74	130,54	178,85	199,74	192,68	163,19	179,62	95,63	146,77	178,85	171,02	199,74	163,19				
PE/PB/AL	159,26	151,43	163,19	180,15	156,65	159,26	180,15	172,31	137,08	159,26	21,89	73,03	163,19	151,43	180,15	137,08				
BA/SE	154,04	146,21	154,04	174,93	182,76	154,04	174,93	167,09	39,16	154,04	141,03	192,16	154,04	146,21	174,93	39,16				
RJ/ES	83,55	39,16	86,16	67,88	193,20	86,16	107,04	96,60	146,21	83,55	179,43	230,56	86,16	39,16	107,04	146,21				
MG	112,27	67,88	114,88	39,16	221,92	114,88	91,38	91,38	174,93	112,27	179,43	230,56	114,88	67,88	91,38	174,93				
SP oeste	62,66	107,04	101,82	135,76	221,92	101,82	39,16	49,61	174,93	62,66	397,96	449,10	101,82	107,04	39,16	174,93				
SP central	52,22	104,43	91,38	133,15	219,31	91,38	49,61	39,16	172,31	52,22	387,20	438,34	91,38	104,43	49,61	172,31				
SP nordeste	39,16	83,55	78,32	112,27	198,42	78,32	62,66	52,22	151,43	39,16	400,30	451,43	78,32	83,55	62,66	151,43				
RS	78,32	86,16	39,16	114,88	201,03	86,16	101,82	91,38	154,04	78,32	547,61	598,74	39,16	86,16	101,82	154,04				
PR/SC	78,32	86,16	86,16	114,88	201,03	39,16	101,82	91,38	154,04	78,32	468,12	519,26	86,16	86,16	101,82	154,04				
MS/MT	297,63	342,02	336,80	274,14	456,89	336,80	274,14	284,58	409,90	297,63	429,36	480,50	336,80	342,02	274,14	409,90				
GO/DF/TO	131,46	175,85	170,62	169,70	290,72	170,62	107,96	118,41	243,73	131,46	291,75	342,88	170,62	175,85	107,96	243,73				
Externa	199,96	194,57	205,36	223,29	135,12	205,36	223,46	213,02	167,54	199,96	298,08	349,22	205,36	194,57	223,46	167,54				

Fonte: Pomper Mayer (2002).

**Tabela 22** - Custos de transporte para os *Traders* (R\$/m<sup>3</sup>). Atualizados para abril de 2015.

Regiões	Gasolina		Óleos diesel e combustível	
	Venezuela	Argentina	Venezuela	Argentina
PA/AP	167,07	M	197,25	M
AM/RR/RO/AC	194,42	M	222,12	M
MA/PI	142,20	M	135,09	M
CE/RN	167,07	M	230,27	M
PE/PB/AL	145,39	M	158,17	M
BA/SE	192,63	M	230,27	M
RJ/ES	181,07	M	188,87	M
MG	208,42	M	221,20	M
SP oeste	208,42	M	218,71	M
SP central	205,93	M	216,23	M
SP nordeste	186,04	M	198,82	M
RS	178,58	M/121,96	191,36	M/121,96
PR/SC	181,07	M/124,45	193,85	M/124,44
MS/MT	432,20	M	442,50	M
GO/DF/TO	273,94	M	284,23	M
Externa	-	-	-	-

Fonte: Pompermayer(2002).

As tabelas de **Tabela 23** a **Tabela 37**, apresentam as estimativas de custo de refino e taxas de conversão de cada óleo cru para os dois modos de operação (máximo gasolina e máximo diesel). Os valores foram obtidos a partir do histórico de produção de cada refinaria., por derivado, para cada o óleo cru, de acordo com o grau de API.

**Tabela 23** - Custo de refino e taxas de conversão da RECAP.

RECAP	gas	diesel	oc	custo de refino (R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,15	0,44	0,15	34,83
cru:1, om:2	0,15	0,40	0,15	33,88
cru:2, om:1	0,22	0,55	0,03	33,25
cru:2, om:2	0,21	0,54	0,03	31,98
cru:3, om:1	0,43	0,44	0,01	30,07
cru:3, om:2	0,42	0,43	0,01	28,51
cru:4, om:1	0,38	0,39	0,01	31,66
cru:4, om:2	0,37	0,38	0,01	30,24
cru:5, om:1	0,30	0,40	0,08	34,83
cru:5, om:2	0,30	0,39	0,07	33,88
cru:6, om:1	0,38	0,35	0,01	31,35
cru:6, om:2	0,37	0,34	0,01	29,90
cru:7, om:1	0,22	0,70	0,04	31,98
cru:7, om:2	0,21	0,69	0,04	30,59

Fonte: ANP.

**Tabela 24** - Custo de refino e taxas de conversão da REFAP.

REFAP	gas	diesel	oc	custo de refino (R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,08	0,19	0,31	33,46
cru:1, om:2	0,08	0,17	0,30	32,55
cru:2, om:1	0,13	0,24	0,20	31,94
cru:2, om:2	0,13	0,24	0,20	30,72
cru:3, om:1	0,27	0,19	0,05	28,92
cru:3, om:2	0,26	0,19	0,05	27,40
cru:4, om:1	0,24	0,17	0,05	30,42
cru:4, om:2	0,23	0,17	0,24	29,07
cru:5, om:1	0,16	0,17	0,31	33,46
cru:5, om:2	0,16	0,17	0,30	32,55
cru:6, om:1	0,24	0,15	0,24	30,11
cru:6, om:2	0,23	0,15	0,37	28,72
cru:7, om:1	0,13	0,31	0,22	30,72
cru:7, om:2	0,13	0,30	0,22	29,40

Fonte: ANP



**Tabela 25 - Custo de refino e taxas de conversão da RECAP.**

REGAP	gas	diesel	oc	Custo de refino (R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,10	0,46	0,19	36,53
cru:1, om:2	0,10	0,46	0,19	35,53
cru:2, om:1	0,29	0,36	0,09	34,88
cru:2, om:2	0,28	0,35	0,09	33,53
cru:3, om:1	0,32	0,29	0,10	31,55
cru:3, om:2	0,31	0,28	0,10	29,88
cru:4, om:1	0,32	0,25	0,10	33,20
cru:4, om:2	0,31	0,25	0,10	31,70
cru:5, om:1	0,20	0,46	0,10	36,53
cru:5, om:2	0,20	0,46	0,10	35,53
cru:6, om:1	0,32	0,25	0,10	32,88
cru:6, om:2	0,31	0,25	0,10	31,35
cru:7, om:1	0,29	0,46	0,10	33,53
cru:7, om:2	0,29	0,45	0,10	32,07

Fonte: ANP

**Tabela 26 - Custo de refino e taxas de conversão da REMAN.**

REMAN	gas	diesel	oc	Custo de refino (R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,05	0,42	0,25	33,46
cru:1, om:2	0,04	0,42	0,24	32,55
cru:2, om:1	0,02	0,33	0,11	31,94
cru:2, om:2	0,02	0,32	0,11	30,72
cru:3, om:1	0,61	0,26	0,10	28,92
cru:3, om:2	0,43	0,26	0,10	27,40
cru:4, om:1	0,31	0,23	0,10	30,42
cru:4, om:2	0,15	0,23	0,10	29,07
cru:5, om:1	0,10	0,42	0,12	33,46
cru:5, om:2	0,05	0,42	0,12	32,55
cru:6, om:1	0,55	0,23	0,10	30,11
cru:6, om:2	0,22	0,23	0,10	28,72
cru:7, om:1	0,03	0,42	0,12	30,72
cru:7, om:2	0,03	0,41	0,12	29,40

Fonte: ANP

**Tabela 27 - Custo de refino e taxas de conversão da REPAR.**

REPAR	gas	diesel	oc	Custo de refino (R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,06	0,45	0,12	34,27
cru:1, om:2	0,05	0,45	0,12	33,33
cru:2, om:1	0,31	0,46	0,03	32,70
cru:2, om:2	0,30	0,42	0,03	31,46
cru:3, om:1	0,61	0,28	0,06	29,59
cru:3, om:2	0,49	0,22	0,10	28,03
cru:4, om:1	0,31	0,22	0,10	31,14
cru:4, om:2	0,15	0,60	0,10	29,74
cru:5, om:1	0,12	0,45	0,06	34,27
cru:5, om:2	0,06	0,45	0,06	33,33
cru:6, om:1	0,37	0,22	0,10	30,83
cru:6, om:2	0,18	0,45	0,01	29,40
cru:7, om:1	0,06	0,74	0,03	31,46
cru:7, om:2	0,04	0,46	0,00	30,09

Fonte: ANP

**Tabela 28 - Taxas de conversão e custo de refino para a REPLAN.**

REPLAN	Gas	diesel	oc	Custo de refino (R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,05	0,43	0,15	34,42
cru:1, om:2	0,04	0,38	0,15	33,46
cru:2, om:1	0,22	0,53	0,04	32,85
cru:2, om:2	0,21	0,52	0,04	31,59
cru:3, om:1	0,43	0,43	0,06	29,72
cru:3, om:2	0,34	0,42	0,06	28,16
cru:4, om:1	0,31	0,38	0,06	31,29
cru:4, om:2	0,30	0,37	0,06	29,88
cru:5, om:1	0,21	0,38	0,08	34,42
cru:5, om:2	0,21	0,38	0,07	33,46
cru:6, om:1	0,31	0,34	0,00	30,96
cru:6, om:2	0,30	0,33	0,06	29,53
cru:7, om:1	0,22	0,70	0,04	31,59
cru:7, om:2	0,21	0,67	0,04	30,22

Fonte: ANP

**Tabela 29** - Taxas de conversão e custo de refino para a REVAP.

REVAP	gas	diesel	oc	Custo de refino (R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,08	0,24	0,38	34,75
cru:1, om:2	0,08	0,22	0,38	33,81
cru:2, om:1	0,14	0,30	0,24	33,18
cru:2, om:2	0,13	0,29	0,23	31,92
cru:3, om:1	0,27	0,24	0,27	30,01
cru:3, om:2	0,27	0,24	0,27	28,44
cru:4, om:1	0,24	0,21	0,27	31,59
cru:4, om:2	0,23	0,21	0,27	30,18
cru:5, om:1	0,16	0,22	0,38	34,75
cru:5, om:2	0,16	0,21	0,38	33,81
cru:6, om:1	0,24	0,19	0,27	31,29
cru:6, om:2	0,23	0,19	0,42	29,83
cru:7, om:1	0,14	0,38	0,26	31,92
cru:7, om:2	0,13	0,38	0,26	30,53

Fonte: ANP

**Tabela 30** - Taxas de conversão e custo de refino para a RLAM.

RLAM	gas	diesel	oc	Custo de refino (R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,12	0,19	0,14	31,44
cru:1, om:2	0,12	0,47	0,04	30,59
cru:2, om:1	0,08	0,63	0,00	30,03
cru:2, om:2	0,08	0,61	0,00	28,88
cru:3, om:1	0,27	0,56	0,02	27,16
cru:3, om:2	0,19	0,55	0,02	25,72
cru:4, om:1	0,17	0,39	0,02	28,59
cru:4, om:2	0,16	0,38	0,01	27,31
cru:5, om:1	0,24	0,47	0,03	31,44
cru:5, om:2	0,24	0,47	0,02	30,59
cru:6, om:1	0,17	0,39	0,01	28,31
cru:6, om:2	0,16	0,38	0,07	26,98
cru:7, om:1	0,08	0,63	0,01	28,88
cru:7, om:2	0,08	0,63	0,00	27,61

Fonte: ANP.

**Tabela 31 - Taxas de conversão e custo de refino para RPBC.**

RPBC	gas	diesel	oc	Custo de refino (R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,06	0,70	0,15	38,99
cru:1, om:2	0,05	0,70	0,15	37,92
cru:2, om:1	0,09	0,70	0,04	37,20
cru:2, om:2	0,04	0,69	0,04	35,79
cru:3, om:1	0,44	0,42	0,05	33,66
cru:3, om:2	0,36	0,41	0,05	31,90
cru:4, om:1	0,32	0,37	0,05	35,44
cru:4, om:2	0,31	0,36	0,05	33,85
cru:5, om:1	0,21	0,63	0,08	38,99
cru:5, om:2	0,11	0,63	0,07	37,92
cru:6, om:1	0,32	0,33	0,05	35,09
cru:6, om:2	0,31	0,33	0,05	33,46
cru:7, om:1	0,09	0,74	0,04	35,79
cru:7, om:2	0,09	0,70	0,04	34,25

Fonte: ANP.

**Tabela 32 - Taxas de conversão e custo de refino para RNEST.**

RNEST	gas	diesel	oc	Custo de refino (R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,00	0,16	0,24	31,54
cru:1, om:2	0,00	0,40	0,07	31,32
cru:2, om:1	0,00	0,79	0,00	31,14
cru:2, om:2	0,00	0,78	0,00	31,24
cru:3, om:1	0,00	0,71	0,00	31,38
cru:3, om:2	0,00	0,70	0,00	31,63
cru:4, om:1	0,00	0,49	0,00	31,91
cru:4, om:2	0,00	0,48	0,00	31,79
cru:5, om:1	0,00	0,40	0,06	31,67
cru:5, om:2	0,00	0,40	0,03	31,40
cru:6, om:1	0,00	0,49	0,00	31,11
cru:6, om:2	0,00	0,48	0,00	31,37
cru:7, om:1	0,00	0,79	0,00	31,69
cru:7, om:2	0,00	0,79	0,00	31,64

Fonte:ANP

**Tabela 33 - Taxas de conversão e custos de refino para RPCC.**

RPCC	gas	diesel	oc	Custo de refino (R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,00	0,20	0,53	31,49
cru:1, om:2	0,00	0,50	0,16	31,30
cru:2, om:1	0,00	1,00	0,00	31,14
cru:2, om:2	0,00	0,98	0,00	31,24
cru:3, om:1	0,04	0,90	0,00	31,37
cru:3, om:2	0,03	0,88	0,00	31,61
cru:4, om:1	0,02	0,62	0,00	31,87
cru:4, om:2	0,02	0,61	0,00	31,77
cru:5, om:1	0,00	0,50	0,13	31,67
cru:5, om:2	0,00	0,50	0,06	31,43
cru:6, om:1	0,02	0,62	0,00	31,18
cru:6, om:2	0,02	0,61	0,00	31,43
cru:7, om:1	0,01	0,90	0,00	31,73
cru:7, om:2	0,01	0,90	0,00	31,70

Fonte: ANP.

**Tabela 34 - Taxas de conversão e custo de refino para Riograndense.**

Riograndense	gas	diesel	oc	Custo refino(R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,17	0,22	0,45	31,96
cru:1, om:2	0,16	0,22	0,44	31,07
cru:4, om:1	0,78	0,05	0,00	27,59
cru:4, om:2	0,76	0,05	0,00	26,14

Fonte: ANP.

**Tabela 35 - Taxas de conversão e custo de refino para Manguinhos.**

Manguinhos	gas	diesel	oc	Custo refino(R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,30	0,09	0,34	31,96
cru:1, om:2	0,29	0,09	0,34	31,07
cru:4, om:1	0,81	0,02	0,00	27,59
cru:4, om:2	0,79	0,02	0,00	26,14

**Tabela 36** - Taxas de conversão e custo de refino para Univen.

Univen	gas	diesel	oc	Custo refino(R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,09	0,05	0,03	31,96
cru:1, om:2	0,09	0,05	0,03	0,00
cru:4, om:1	0,80	0,01	0,00	0,00
cru:4, om:2	0,78	0,01	0,00	0,00

Fonte: ANP

**Tabela 37** - Taxas de conversão e custo de refino para DaxOil.

DaxOil	gas	diesel	oc	Custo refino(R\$/m <sup>3</sup> )
cru:1, om:1	0,00	0,02	0,27	31,96
cru:1, om:2	0,00	0,02	0,11	0,00
cru:4, om:1	0,00	0,01	0,00	0,00
cru:4, om:2	0,00	0,01	0,00	0,00

Fonte: ANP

**Tabela 38** - Custos de aquisição de combustíveis no mercado internacional estimados para 2015 (R\$/m<sup>3</sup>).

	Gasolina	Diesel	Óleo Combustível	Etanol
Custo (R\$/m <sup>3</sup> )	1.255	1.382	866	990

Fonte: ANP.

**Tabela 39** - Evolução dos custos de produção agroindustriais do etanol hidratado (R\$/m<sup>3</sup>).

Região	Safrá										
	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015			
Expansão	1.144	1.290	1.322	1.189	1.519	1.458	1.463	1.512			
Tradicional	1.092	1.211	1.324	1.229	1.571	1.444	1.459	1.482			
Nordeste	1.422	1.455	1.550	1.567	1.611	1.744	1.735	1.651			

Fonte: PECEGE (2015).

**Tabela 40** - Estimativas de custos industriais para o etanol hidratado (abril/2015).

Região	Custo Industrial (R\$/m <sup>3</sup> )
Expansão	537,35
Tradicional	531,39
Norte-Nordeste	558,29

Fonte: Estimativas baseadas em PECEGE (2015).

**Tabela 41** - Custos de transporte para o etanol (R\$/m<sup>3</sup>).

Regiões/Plantas	AC	AL	AM	BA	CE	ES	GO	MA	MG	MS	MT	PA
PA/AP	149,51	156,38	92,55	127,44	122,79	180,74	108,96	72,85	150,50	147,76	87,74	15,65
AM/RR/RO/AC	72,01	244,20	8,48	212,74	212,97	246,41	170,21	164,10	220,53	168,75	112,78	103,54
MA/PI	226,79	70,71	167,07	56,74	35,13	124,62	87,36	14,51	26,80	159,59	122,10	69,18
CE/RN	264,28	41,39	219,08	62,16	5,04	114,69	122,10	52,54	122,40	181,51	154,32	120,11
PE/PB/AL	19,93	17,33	215,41	42,61	27,87	95,83	112,10	66,66	99,34	152,72	150,05	130,27
BA/SE	250,84	44,52	202,43	16,65	38,41	49,25	75,37	66,13	57,27	127,75	120,95	114,08
RJ/ES	258,02	99,34	236,71	74,22	133,25	20,08	82,01	137,45	30,39	109,58	139,81	168,60
MG	223,50	90,49	197,85	49,56	115,53	35,97	46,88	105,61	10,16	82,39	104,54	133,48
SP oeste	193,27	154,63	184,33	107,74	166,69	81,86	49,18	143,63	53,45	32,30	82,39	133,17
SP central	204,72	146,61	193,88	100,34	163,56	69,41	51,16	144,93	45,43	47,80	94,23	142,49
SP nordeste	227,70	140,50	214,19	102,25	163,49	54,90	66,28	151,80	40,47	69,26	115,76	156,84
RS	215,41	213,35	217,17	165,70	229,84	129,20	113,62	209,68	109,04	70,10	131,26	196,78
PR/SC	215,94	184,71	212,36	143,94	200,83	101,94	86,44	185,55	84,15	60,02	116,91	183,42
MS/MT	135,46	157,76	112,25	112,25	150,50	127,21	49,02	108,89	92,78	52,99	15,04	74,83
GO/DF/TO	184,41	110,72	154,48	60,32	107,36	80,71	11,76	78,65	48,79	73,76	61,77	84,68
Externa	426,79	270,71	367,07	256,74	235,13	324,62	287,36	214,51	226,80	359,59	222,10	269,18

Fonte: elaboração própria baseada em dados de 2019 do SIFRECA, deflacionados pelo IPCA para 2015.



**Tabela 42** – Continuação dos dados custos de transporte para o etanol (R\$/m³).

Regiões/Plantas	PB	PE	PI	PR	RJ	RN	RO	RS	SE	SP	TO	Trader
PA/AP	145,77	147,07	102,63	188,68	187,00	147,30	100,41	228,54	154,17	173,26	82,32	147,07
AM/RR/RO/AC	236,41	240,99	195,56	217,78	248,32	240,53	72,16	246,56	240,91	210,60	157,30	240,99
MA/PI	66,20	64,07	25,20	181,89	147,60	64,83	155,01	219,38	76,59	155,39	60,63	64,07
CE/RN	27,87	27,41	38,03	194,41	144,85	20,39	210,37	234,73	45,28	165,47	90,49	27,41
PE/PB/AL	16,19	17,26	14,13	175,55	109,19	25,96	208,61	215,49	20,16	145,85	86,44	17,26
BA/SE	60,17	40,93	43,45	130,42	171,12	67,96	179,14	171,96	47,42	98,73	61,01	40,93
RJ/ES	111,10	108,89	114,54	86,74	19,47	135,23	240,23	118,89	92,24	61,70	104,69	108,89
MG	114,08	98,73	94,46	76,44	35,43	125,84	163,64	118,20	87,13	45,82	70,02	98,73
SP oeste	167,61	151,65	136,15	26,65	66,66	176,08	133,78	69,33	142,41	9,16	96,06	151,65
SP central	158,29	145,69	131,41	31,23	51,85	171,66	146,84	73,46	134,24	5,35	98,58	145,69
SP nordeste	157,99	143,71	134,24	44,82	35,05	168,83	164,02	73,00	131,87	21,23	105,07	143,71
RS	227,09	213,96	196,55	34,59	105,68	236,41	166,85	12,22	199,30	65,29	158,98	213,96
PR/SC	201,51	185,02	173,87	15,73	80,41	211,29	160,81	28,86	166,69	38,51	130,50	185,02
MS/MT	163,71	151,12	117,98	94,15	124,01	169,06	70,10	131,87	146,30	85,90	58,87	151,12
GO/DF/TO	118,43	101,63	74,68	93,85	85,22	127,29	120,19	134,62	95,75	98,81	26,50	101,63
Externa	266,20	264,07	225,20	381,89	347,60	264,83	355,01	319,38	276,59	355,39	260,63	-

Fonte: elaboração própria baseada em dados de 2019 do SIFRECA, deflacionados pelo IPCA para 2015

## APÊNDICE II

Código desenvolvido em *Python* para simulação do mercado de combustíveis e dos cenários.

```
# Modulo de Criação do Modelo de Oligopólio para Equilíbrio Parcial de preços (Cournot/Nash)
# Desenvolvido por Sissi Alves da Silva (2019)
# Baseado em Pompermayer(2002)
# Utilizando métodos de suporte para leitura e gravação de dados baseados em Oliveira(2019)
#
=====
=====
import sys
import xlrd
import docplex.mp
from docplex.mp.model import Model
import cplex
import numpy as np
import pandas as pd
import SupportFunctions as support

#=====
=====
#
=====
=====
# Parâmetros para a construção do Modelo
#
=====
=====
sDirectoryInput = './input/'
sDirectoryOutput = './output/'
sDirectoryOutputLP = './outputLP/'
nNumFirmsMax = 11 #todas as firmas: Refinadoras, Traders e Usinas
nNumFirmRefMax = 5 #número máximo de firmas refinadoras (Petrobrás com 12 refinarias, 4
refinarias privadas, 2 traders e 3 usinas com 13, 5 e 5 plantas
nNumProductsMax = 4
nNumTradersMax = 2 #Argentina e Venezuela
nNumFirmUsinas = 4
nNumUsinasPlantsMax = 13
nNumTradersPointMax = 2
nNumRefineriesMax = 12 #refinarias da Petrobrás
nNumInputMax = 7
nNumOperModeMax = 2
nNumMarketsMax = 16
nNumMarketsMaxTraders = 15 #trader não exporta
```

```

#
=====
=====

#
=====
=====
# Leitura dos dados comuns de entrada para todos os casos
#
=====
=====
mProducts, sNameProducts, mTraderspoint, mRefineries, mProductRefinerie, mUsinasPlants,
mInputRefinerie, mOperationMode, mMarkets, mFirmTypes =
support.read_configuration(sDirectoryInput, "InputCFG.xlsx", nNumProductsMax,
nNumTradersMax, nNumFirmsMax, nNumFirmRefMax, nNumFirmUsinas)

mDemandInitial, mPricesInitial = support.read_demand_prices(sDirectoryInput,
"PriceDemandInitial.txt", nNumProductsMax, nNumMarketsMax)

mElasticity = support.read_elasticity(sDirectoryInput, "ElasticityV2.txt", nNumProductsMax,
nNumMarketsMax)

#
=====
=====
# Carga de dados dos Refinadores
#
=====
=====

mTransportationCost = support.read_cost_transport_product(sDirectoryInput, nNumMarketsMax,
nNumFirmRefMax, mRefineries, nNumProductsMax)

mInputTransportationCost = support.read_cost_transport_input(sDirectoryInput,
nNumFirmRefMax, mInputRefinerie, mRefineries)

mInputAcquisitionCost = support.read_cost_acquisition_input(sDirectoryInput,
nNumFirmRefMax, mInputRefinerie)

mInputProductionCapacity = support.read_production_capacity_input(sDirectoryInput,
nNumFirmRefMax, mInputRefinerie)

mInputExteriorPrice = support.read_ext_price_input(sDirectoryInput, nNumFirmRefMax,
mInputRefinerie)

```

```
mRefiningCapacity = support.read_refining_capacity(sDirectoryInput, nNumFirmRefMax,
mRefineries)
```

```
mInputConversionRate = support.read_conversion_rate_input(sDirectoryInput,
nNumFirmRefMax, mRefineries, mInputRefinerie,mOperationMode, nNumProductsMax)
```

```
mInputRefiningCostOperMode = support.read_input_refining_cost_om(sDirectoryInput,
nNumFirmRefMax, mRefineries, mInputRefinerie, mOperationMode)
```

```
#
```

```
=====
```

```
# Carga de dados dos Traders
```

```
#
```

```
=====
```

```
mTrader_TransportCostProduct = support.read_trader_transport_cost_prod(sDirectoryInput,
nNumTradersMax, mTraderspoint, nNumMarketsMaxTraders, nNumProductsMax)
```

```
mTrader_AcquisitionCostProduct = support.read_trader_acquisition_cost_prod(sDirectoryInput,
nNumTradersMax, mTraderspoint, nNumProductsMax)
```

```
#
```

```
=====
```

```
# Carga de dados das Usinas
```

```
#
```

```
=====
```

```
mUsinas_TransportCostProduct = support.read_usina_transport_cost_prod(sDirectoryInput,
nNumFirmUsinas, mUsinasPlants, nNumMarketsMaxTraders, nNumProductsMax)
```

```
mUsinas_ProductionCostProduct = support.read_usina_production_cost_prod(sDirectoryInput,
nNumFirmUsinas, mUsinasPlants, nNumMarketsMaxTraders, nNumProductsMax)
```

```
mUsinas_Capacity = support.read_usina_capacity(sDirectoryInput, nNumFirmUsinas,
mUsinasPlants)
```

```
#
```

```
=====
```

```
# Funções utilizadas
```

```

#
=====
=====

def CalcQuantOthers (WorkQ):
    Firms, Regions,Products = np.shape(WorkQ)
    mWorkOthers = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumMarketsMax, nNumProductsMax],
dtype=float)
    for fi in range(Firms):
        for f in range(Firms):
            for k in range(Regions):
                for p in range(Products):
                    if (fi != f):
                        mWorkOthers[fi, k, p] += WorkQ[f, k, p]

    return mWorkOthers

# Função que calcula o preço da quantidade ótima, obtida da iteração anterior
# Retorna a matriz de preço para todos os produtos e mercados

def CalcPriceMkt(mPricesInitial,mQuantMkt,m_coef_a, m_coef_b):
    # Calcular o preço após a otimização utilizando a variável otimizada Q[k,p]
    mPriceMkt = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
    for k in range(nNumMarketsMax):
        for p in range(nNumProductsMax):
            if (k==15):
                mPriceMkt[k, p] = mPricesInitial[k, p]
            else:
                mPriceMkt[k, p] = m_coef_a[k, p] * mQuantMkt[k, p] + m_coef_b[k, p]
    return mPriceMkt

# Função que recebe como argumento a matriz de quantidades calculadas na iteração anterior
# Retorna a matriz de quantidades de todas a firmas(da iteração anterior), com exceção da firma
atual
def CalculaDifs(mQuantMkt,mResultQAnt):
    SomaDif=0
    Regions, Products = np.shape(mQuantMkt)
    for k in range(Regions):
        for p in range(Products):
            SomaDif = SomaDif + abs(mResultQAnt[k, p] - mQuantMkt[k, p])
    return SomaDif

def CalculaDifsFirma(mResultQQ,mResultQQAnt,nTolerFirm, nIter):
    lIter=False

```

```

Firms, Regions, Products = np.shape(mResultQQ)
for f in range(Firms):
    SomaDif=0
    for k in range(Regions):
        for p in range(Products):
            SomaDif = SomaDif + abs(mResultQQ[f,k, p] - mResultQQAnt[f, k, p])

    print("Iteration ", nIter+1, "Firm ", f, " Difference ", SomaDif)
    if SomaDif>nTolerFirm:
        lIter = True

return lIter

def ConverteInt(mResultQQEnt):
    Firms, Regions, Products = np.shape(mResultQQEnt)
    mResultQQSai = np.zeros([Firms, Regions, Products], dtype=int)
    for f in range(Firms):
        for k in range(Regions):
            for p in range(Products):
                mResultQQSai[f, k, p] = mResultQQEnt[f,k, p]

    return mResultQQSai

if __name__ == '__main__':
    #
    =====
    =====
    # Parameters names
    #
    =====
    =====
    product_names = ["gasolina", "diesel", "oc", "etanol"]
    input_names = ["cru1", "cru2", "cru3", "cru4", "cru5", "cru6", "cru7"]
    operation_mode = ["mod1", "mod2"]
    reg_names = ['1','2','3','4', '5', '6', '7', '8', '9', '10','11','12','13','14','15','16']
    refiners_names = ['ref1', 'ref2', 'ref3', 'ref4', 'ref5', 'ref6', 'ref7', 'ref8', 'ref9', 'ref10', 'ref11', 'ref12']

    #
    =====
    =====
    # Settings
    #
    =====
    =====

```

```

#
=====
=====
# inicialização das variáveis
#
=====
=====

mWorkP = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax],dtype=float)
mResultQQ = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
mResultQQAnt = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumMarketsMax, nNumProductsMax],
dtype=float)
mResultQAnt = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
mWorkOthers = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumMarketsMax, nNumProductsMax],
dtype=float)

mResultQY = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumUsinasPlantsMax, nNumMarketsMax,
nNumProductsMax],dtype=float)

mQuantMkt = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax],dtype=float)

# inicialização
m_coef_a = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
m_coef_b = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
m_coef_b_f = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)

for k in range(nNumMarketsMax): # a última região é exportação
    for p in range(nNumProductsMax):
        m_coef_a[k, p] = mPricesInitial[k, p] / (mElasticity[k, p, p] * mDemandInitial[k, p])
        m_coef_b[k, p] = (mPricesInitial[k, p] / mElasticity[k, p, p]) * (mElasticity[k, p, p] - 1)
        for f in range(nNumFirmsMax):
            m_coef_b_f[f,k,p] = m_coef_b[k, p]

Pr = CalcPriceMkt(mPricesInitial, mDemandInitial, m_coef_a, m_coef_b)
# loop de iterações
nIter=0
MaxIter= 2000
SomaDif= 55
Toler = 0.0001
nTolerFirm=0.0001

```

```

print("+++++
+++++")
    print("Running Model for ",nNumFirmsMax,"firms x ", nNumMarketsMax, "regions")

print("+++++
+++++")
    lIter=True
    while ( (nIter<MaxIter) and lIter ):
        if (nIter==0):
            #mWorkP = np.copy(mPricesInitial)
            mWorkP = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
            mResultQX = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumRefineriesMax, nNumInputMax,
nNumOperModeMax], dtype=float)

            # loop das firmas
            for f in range(nNumFirmsMax):

                #
                =====
                =====
                # Inicialização do Modelo
                #
                =====
                =====

                if mFirmTypes[f]== 1:
                    nb_refiners = int(mRefineries[0, f]) # número de refinarias da firma
                    nb_product = len(product_names) # número de produtos da firma
                    nb_input = int(mInputRefinerie[0, f]) # número de óleo produzidos/utilizados na
refinaria
                    nb_oper_mode = int(mOperationMode[0, f]) # número de modos de operação da firma
                    nb_reg = int(mMarkets[0, f]) # número de mercados/regiões de consumo

                    mResultQE = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumRefineriesMax, nNumInputMax],
dtype=float)
                    # Nome e varáveis do modelo

                    mdl = Model(name="ModeloAllFirmasPlantasMercadosOleosModos")
                    #observar que se necessário usar três dimensões, a variável é var_cube para o docplex
                    qtdadeQ = mdl.continuous_var_matrix(keys1=nb_reg, keys2=nb_product, lb=0,
name='Q')#qtdade de produtos finais produzidos por região/mercado

```



```

    qtdadeY =
mdl.continuous_var_cube(keys1=nb_refiners,keys2=nb_reg,keys3=nb_product, lb=0, name='Y')
# qtdade de produto despachados pela firma
    qtdadeX = mdl.continuous_var_cube(keys1=nb_refiners, keys2=nb_input,
keys3=nb_oper_mode, lb=0, name='X') # qtdade de óleo cru processado
    qtdadeE = mdl.continuous_var_matrix(keys1=nb_refiners, keys2 =nb_input, lb=0,
name='E')#qtdade de produtos finais exportados

#
=====
=====
# Restrições Refinadores
#
=====
=====

#3.2 Capacidade de processamento do óleo cru (Rj), para cada óleo cru, em n modos
operacionais de refino
for j in range(nb_refiners):
    mdl.add_constraint(mdl.sum(qtdadeX[j, i, o] for i in range(nb_input) for o in
range(nb_oper_mode))<= mRefiningCapacity[f,j], ctname="const32.")

# 3.3 Capacidade de produção de cada unidade de óleo cru
for i in range(nb_input):
    mdl.add_constraint(qtdadeE[j,i]+ mdl.sum(qtdadeX[j, i, o] for j in
range(nb_refiners)for o in range (nb_oper_mode))<= mInputProductionCapacity[f,i],
ctname="const33.")

# 3.3 Capacidade de produção de cada unidade de óleo cru
for i in range(nb_input):
    mdl.add_constraint(
        mdl.sum(qtdadeX[j, i, o] for j in range(nb_refiners) for o in range(nb_oper_mode))
<=
        mInputProductionCapacity[f, i], ctname="const33.")

# 3.6 Conservação de fluxo
for j in range(nb_refiners):
    for p in range(nb_product):
        mdl.add_constraint(
            mdl.sum(qtdadeY[j,k,p] for k in range(nb_reg))
            ==
            mdl.sum((qtdadeX[j,i,o]*mInputConversionRate[f,j,i,o,p]) for i in
range(nb_input) for o in range(nb_oper_mode))
            , ctname='const36.'
        )

```

```

#3.7 Conservação de fluxo
for k in range(nb_reg):
    for p in range(nb_product):
        mdl.add_constraint(mdl.sum(qtdadeY[j, k, p]for j in
range(nb_refiners))==qtdadeQ[k,p], ctname="const37.")

# 3.8 Não negatividade
mdl.add_constraint(mdl.sum(qtdadeX[j, i, o] for j in range(nb_refiners) for i in
range(nb_input) for o in range(nb_oper_mode)) >= 0, ctname="const381.")
mdl.add_constraint(
    mdl.sum(qtdadeY[j, k, p]for j in range(nb_refiners)for k in range(nb_reg) for p in
range(nb_product)) >= 0, ctname="const382.")
mdl.add_constraint(mdl.sum(qtdadeQ[k, p]for k in range(nb_refiners) for p in
range(nb_product)) >= 0, ctname="const383.")

mdl.add_constraint(mdl.sum((qtdadeX[j, i, o] * mInputConversionRate[f, j, i, o, p]) for
j in range(nb_refiners) for i in range(nb_input) for o in range(nb_oper_mode) for p in
range(nb_product))>=0, ctname="const384")

#
=====
=====
# Construção da Função Objetivo Refinadores
#
=====
=====

# Total Revenue
total_revenue = mdl.sum(((m_coef_a[k, p])*qtdadeQ[k,p]**2 + m_coef_b_f[f, k,
p]*qtdadeQ[k,p]) for k in range(nb_reg)for p in range(nb_product))
mdl.add_kpi(total_revenue, "Total revenue")

# Custo de comercialização de Y
transport_prod_cost = mdl.sum((qtdadeY[j, k, p] * mTransportationCost[f, j, k, p])for j
in range(nb_refiners)for k in range(nb_reg)for p in range(nb_product))
mdl.add_kpi(transport_prod_cost, "Transport cost product")

# Custo de aquisição do input X (cpi or pric2)+ctij
cost_acq_input = mdl.sum(
    (
        mInputAcquisitionCost[f,i] + mInputTransportationCost[f,i,j])
    * qtdadeX[j, i, o] for o in range(nb_oper_mode) for i in range(nb_input)for j in
range(nb_refiners))

```

```

mdl.add_kpi(cost_acq_input, "Cost acquisition or product oil")

# Custo de Refino de X
cost_ref_input = mdl.sum((mInputRefiningCostOperMode[f, j, i, o] * qtdadeX[j, i, o])
for o in range(nb_oper_mode) for i in range(nb_input) for j in range(nb_refiners))
mdl.add_kpi(cost_ref_input, "Cost refine crude")

# Custo de Exportação
exterior_revenue = mdl.sum(
    (
        mInputExteriorPrice[f,i] - (mInputAcquisitionCost[f,i] +
mInputTransportationCost[f,i,j])
    ) * qtdadeE[j, i] for i in range(nb_input) for j in range(nb_refiners))

mdl.add_kpi(exterior_revenue, "Lucro exportação")

# Função completa
func_model = total_revenue - transport_prod_cost - cost_acq_input - cost_ref_input +
exterior_revenue

#
=====
=====
# Maximização da função objetivo
#
=====
=====
mdl.maximize(func_model)

#Imprime os arquivos LP, somente para as iterações 0,1 e 2.
if (nIter == 0) or (nIter ==1) or (nIter==2):
    mdl.export_as_lp(basename="LPFileFirma" + str(f) + "Iter"+ str(nIter) + ".txt",
path=sDirectoryOutputLP)

assert mdl.solve(), "Solve failed"
print("*** Refinadores ***")
mdl.report()
for k in range(nb_reg):
    for p in range(nb_product):
        mResultQQ[f, k, p] = qtdadeQ[k, p].solution_value # valores ótimos de Q

for j in range(nb_refiners):
    for k in range(nb_reg):
        for p in range(nb_product):

```

```

        mResultQY[f, j, k, p] = qtdadeY[j, k, p].solution_value # valores ótimos de Y

    for i in range(nb_input):
        for o in range(nb_oper_mode):
            mResultQX[f, j, i, o] = qtdadeX[j, i, o].solution_value # valores ótimos de X

    for j in range(nb_refiners):
        for i in range(nb_input):
            mResultQE[f,j,i] = qtdadeE[j,i] # valores ótimos de E

    mWorkQ = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumMarketsMax, nNumProductsMax],
dtype=float)
    for ft in range(nNumFirmsMax):
        for k in range(nb_reg):
            for p in range(nb_product):
                mWorkQ[ft, k, p] = mResultQQ[ft, k, p]

    mWorkOthers = CalcQuantOthers(mWorkQ)
    mDeltapr = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
    for k in range(nNumMarketsMax): # a última região é exportação
        for p in range(nNumProductsMax):
            for q in range(nb_product):
                if nIter==0:
                    nPrecoAnt=mPricesInitial[k, q]
                else:
                    nPrecoAnt= mResultPAnt[k, q]

            if (q != p):
                mDeltapr[k, p] += mElasticity[k, p, q] * (nPrecoAnt - mPricesInitial[k, q]) / \
                    mPricesInitial[k, q]

        for f in range(nNumFirmsMax):
            m_coef_b_f[f, k, p] = mPricesInitial[k, p] / mElasticity[k, p, p] * (
                -mDeltapr[k, p] + mElasticity[k, p, p] - 1 + mWorkOthers[f, k, p] /
mDemandInitial[
                k, p])

    del mdl
    elif mFirmTypes[f]== 2:
        nb_product = 3
        #
=====
=====
# Trader

```

```

#
=====
=====
nb_refinerie_trader = 1
nb_reg_trader = 15 # trader não exporta

mdl = Model(name="ModeloAllFirmasPlantasMercadosOleosModos")
qtidadeQ = mdl.continuous_var_matrix(keys1=nb_reg_trader, keys2=nb_product, lb=0,
name='Q') # qtidade de produtos finais produzidos por região/mercado
qtidadeY = mdl.continuous_var_cube(keys1=nb_refinerie_trader, keys2=nb_reg_trader,
keys3=nb_product, lb=0, name='Y') # qtidade de produto despachados pela firma

#
=====
=====
# Restrições Trader
#
=====
=====

# 3.7 Conservação de fluxo
for k in range(nb_reg_trader):
    for p in range(nb_product):
        mdl.add_constraint(qtidadeY[0, k, p] == qtidadeQ[k, p],
                           ctname="const37.")

# 3.8 Não negatividade
mdl.add_constraint(
    mdl.sum(qtidadeY[0, k, p] for k in range(nb_reg_trader) for p in
            range(nb_product)) >= 0, ctname="const382.")

mdl.add_constraint(mdl.sum(qtidadeQ[k, p] for k in range(nb_reg_trader) for p in
range(nb_product)) >= 0,
                   ctname="const383.")

#
=====
=====
# Construção da Função Objetivo Trader
#
=====
=====

# Total Revenue
total_revenue = mdl.sum(((m_coef_a[k, p])*qtidadeQ[k,p]**2 + m_coef_b_f[f, k,
p]*qtidadeQ[k,p]) for k in range(nb_reg_trader) for p in range(nb_product))

```

```

mdl.add_kpi(total_revenue, "Total revenue")

# Custo de transporte de Y
transport_prod_cost = mdl.sum(
    (qtidadeY[0, k, p] * mTrader_TransportCostProduct[f-5, k, p]) for k in
range(nb_reg_trader) for p in range(nb_product))
mdl.add_kpi(transport_prod_cost, "Transport cost product")

# Custo de aquisição de Y
cost_acq_input = mdl.sum(
    (mTrader_AcquisitionCostProduct[f-5, p]* qtidadeY[0, k, p]
    for k in range(nb_reg_trader) for p in range(nb_product)))
mdl.add_kpi(cost_acq_input, "Cost acquisition product")

# Função completa
func_model = total_revenue - transport_prod_cost - cost_acq_input

#
=====
=====
# Maximização da função objetivo Trader
#
=====
=====
mdl.maximize(func_model)

# Imprime os arquivos LP, somente para as iterações 0, 1 e 2.
#if (nIter == 0) or (nIter == 1) or (nIter == 2):
mdl.export_as_lp(basename="LPFileTrader" + str(f-5) + "Iter" + str(nIter) + ".txt",
    path=sDirectoryOutputLP)

assert mdl.solve(), "Solve failed"
print("*** Traders ***")
mdl.report()

#
=====
=====
# Armazena a variável Q na variável QQ, Y na variável QY para serem usadas na
obtenção dos
# valores ótimos de Q.
#
=====
=====

```

```

for k in range(nb_reg_trader):
    for p in range(nb_product):
        mResultQQ[f, k, p] = qtdadeQ[k, p].solution_value #valores ótimos de Q

for j in range(nb_refinerie_trader):
    for k in range(nb_reg_trader):
        for p in range(nb_product):
            mResultQY[f, j, k, p] = qtdadeY[j, k, p].solution_value #valores ótimos de Y

mWorkQ = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumMarketsMax, nNumProductsMax],
dtype=float)
for ft in range(nNumFirmsMax):
    for k in range(nb_reg):
        for p in range(nb_product):
            mWorkQ[ft, k, p] = mResultQQ[ft, k, p]

mWorkOthers = CalcQuantOthers(mWorkQ)
mDeltapr = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
for k in range(nNumMarketsMax): # a última região é exportação
    for p in range(nNumProductsMax):
        for q in range(nb_product):
            if nIter == 0:
                nPrecoAnt = mPricesInitial[k, q]
            else:
                nPrecoAnt = mResultPAnt[k, q]

            if (q != p):
                mDeltapr[k, p] += mElasticity[k, p, q] * (nPrecoAnt - mPricesInitial[k, q]) / \
                    mPricesInitial[k, q]

for f in range(nNumFirmsMax):
    m_coef_b_f[f, k, p] = mPricesInitial[k, p] / mElasticity[k, p, p] * (
        -mDeltapr[k, p] + mElasticity[k, p, p] - 1 + mWorkOthers[f, k, p] /
mDemandInitial[k, p])

del mdl
else:
    #
=====
=====
# Usinas
#
=====
=====
nb_product_ini=3

```

```

nb_product = 4

nb_plants_etanol = int(mUsinasPlants[0, f-7])
nb_product = len(product_names)
nb_reg_etanol = int(mMarkets[0, f-7])

mdl = Model(name="ModeloAllFirmasPlantasMercadosOleosModos")
qtidadeQ = mdl.continuous_var_matrix(keys1=nb_reg_etanol, keys2=nb_product, lb=0,
                                     name='Q') # qtidade de produtos finais produzidos por
região/mercado

qtidadeY = mdl.continuous_var_cube(keys1=nb_plants_etanol, keys2=nb_reg_etanol,
keys3=nb_product, lb=0,
                                     name='Y') # qtidade de produto despachados pela firma

#
=====
=====
# Restrições usinas
#
=====
=====
#3.2 Capacidade de produção das plantas das usinas
for u in range(nb_plants_etanol):
    mdl.add_constraint(
        mdl.sum(qtidadeY[u, k, p] for k in range(nb_reg_etanol) for p in
range(nb_product_ini, nb_product)) <=
        mUsinas_Capacity[f-7, u], ctname="const32.")

# 3.7 Conservação de fluxo
for k in range(nb_reg_etanol):
    for p in range(nb_product_ini, nb_product):
        mdl.add_constraint(mdl.sum(qtidadeY[u, k, p] for u in range(nb_plants_etanol))
== qtidadeQ[k, p],
                           ctname="const37.")

# 3.8 Não negatividade
for u in range(nb_plants_etanol):
    mdl.add_constraint(
        mdl.sum(qtidadeY[u, k, p] for k in range(nb_reg_etanol) for p in
range(nb_product_ini, nb_product)) >= 0, ctname="const382.")

mdl.add_constraint(
    mdl.sum(qtidadeQ[k, p] for k in range(nb_reg_etanol) for p in range(nb_product_ini,
nb_product)) >= 0,

```



```

ctname="const383.")

#
=====
# Construção da Função Objetivo usinas
#
=====
# Total Revenue
total_revenue = mdl.sum(((m_coef_a[k, p])*qtidadeQ[k,p]**2 + m_coef_b[f, k,
p]*qtidadeQ[k,p]) for k in range(nb_reg_etanol) for p in range(nb_product_ini,nb_product))
mdl.add_kpi(total_revenue, "Total revenue")

#Custo de transporte de Y
transport_prod_cost = mdl.sum((qtidadeY[j, k, p] * mUsinas_TransportCostProduct[f-7,
j, k, p])for j in range(nb_plants_etanol)for k in range(nb_reg)for p in range(nb_product_ini,
nb_product))
mdl.add_kpi(transport_prod_cost, "Transport cost product")

#Custo de aquisição de Y

cost_acq_input = mdl.sum(
(mUsinas_ProductionCostProduct[f-7, u, k, p] * qtidadeY[u, k, p] for u in
range(nb_plants_etanol) for k in range(nb_reg_etanol) for p in range(nb_product_ini, nb_product)))

mdl.add_kpi(cost_acq_input, "Cost acquisition product")

# Função completa
func_model = total_revenue - transport_prod_cost - cost_acq_input

#
=====
# Maximização da função objetivo usinas
#
=====
mdl.maximize(func_model)

# Imprime os arquivos LP, somente para as iterações 0, 1 e 2.
if (nIter == 0) or (nIter == 1) or (nIter == 2):
    mdl.export_as_lp(basename="LPFileUsinas" + str(f-7) + "Iter" + str(nIter) + ".txt",
                    path=sDirectoryOutputLP)

```

```

assert mdl.solve(), "Solve failed"
print("*** Usinas ***")
mdl.report()

#
=====
=====
# Armazena a variável Q na variável QQ, Y na variável QY para Usinas
#
=====
=====

for k in range(nb_reg_etanol):
    for p in range(nb_product):
        mResultQQ[f, k, p] = qtdadeQ[k, p].solution_value # valores ótimos de Q

for u in range(nb_plants_etanol):
    for k in range(nb_reg_etanol):
        for p in range(nb_product):
            mResultQY[f,u, k, p] = qtdadeY[u, k, p].solution_value # valores ótimos de Y

mWorkQ = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumMarketsMax, nNumProductsMax],
dtype=float)
for ft in range(nNumFirmsMax):
    for k in range(nb_reg):
        for p in range(nb_product):
            mWorkQ[ft, k, p] = mResultQQ[ft, k, p]

mWorkOthers = CalcQuantOthers(mWorkQ)
mDeltapr = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
for k in range(nNumMarketsMax): # a última região é exportação
    for p in range(nNumProductsMax):
        for q in range(nb_product):
            if nIter == 0:
                nPrecoAnt = mPricesInitial[k, q]
            else:
                nPrecoAnt = mResultPAnt[k, q]

            if (q != p):
                mDeltapr[k, p] += mElasticity[k, p, q] * (nPrecoAnt - mPricesInitial[k, q]) / \
                    mPricesInitial[k, q]

for f in range(nNumFirmsMax):
    m_coef_b_f[f, k, p] = mPricesInitial[k, p] / mElasticity[k, p, p] * (

```

```

        -mDeltapr[k, p] + mElasticity[k, p, p] - 1 + mWorkOthers[f, k, p] /
mDemandInitial[k, p])

        del mdl

        # fim do loop de firmas
        #
=====
=====
        # Atualiza os preços das firmas mResultP usando mResultQ
        #
=====
=====
        # copiar dados de Result para Work
        mQuantMkt = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
        for f in range(nNumFirmsMax):
            for k in range(nb_reg):
                for p in range(nb_product):
                    mQuantMkt[k, p] = mQuantMkt[k, p] + mResultQQ[f, k, p]

        mWorkP = CalcPriceMkt(mPricesInitial, mQuantMkt, m_coef_a, m_coef_b)

        mWorkQ = np.zeros([nNumFirmsMax, nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
        for ft in range(nNumFirmsMax):
            for k in range(nb_reg):
                for p in range(nb_product):
                    mWorkQ[ft, k, p] = mResultQQ[ft, k, p]

        support.GravaIntermediario(nNumFirmsMax, reg_names, product_names, nIter,
mQuantMkt,mResultQQ, m_coef_a, m_coef_b, mWorkP )
        #Calcula a diferença nos valores ótimos de Q, entre a iteração atual e a anterior.
        #Se diferença for menor que toler, retorna o valor Somadif
        SomaDif = CalculaDifs(mQuantMkt,mResultQAnt) # na iteração 0, mResultQAnt = 0
        lIter=CalculaDifsFirma(mResultQQ,mResultQQAnt,nTolerFirm, nIter)
        mResultQAnt=np.copy(mQuantMkt)
        mResultQQAnt=np.copy(mResultQQ)
        mResultPAnt=np.copy(mWorkP)

        #
=====
=====
        # Calcula os coeficientes da função preço: P(x) = ax + b

```

```

#
=====
=====
# inicialização
mDeltapr = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)
m_coef_b = np.zeros([nNumMarketsMax, nNumProductsMax], dtype=float)

mWorkOthers = CalcQuantOthers(mWorkQ)

for k in range(nNumMarketsMax): # a última região é exportação
    for p in range(nNumProductsMax):

        for q in range(nb_product):
            if (q != p):
                mDeltapr[k, p] += mElasticity[k, p, q] * (mResultPAnt[k, q] - mPricesInitial[k, q])
/\
                mPricesInitial[k, q]

        m_coef_b[k, p] = (mPricesInitial[k, p] / mElasticity[k, p, p]) * (mElasticity[k, p, p] - 1 -
mDeltapr[k, p])
        for f in range(nNumFirmsMax):
            m_coef_b_f[f, k, p] = mPricesInitial[k, p] / mElasticity[k, p, p] * (
                -mDeltapr[k, p] + mElasticity[k, p, p] - 1 + mWorkOthers[f, k, p] /
mDemandInitial[k, p])

        nIter+=1
        print("Iteration ", nIter, " Difference ", SomaDif)
#fim da iteração

vDataSheet = []
vSheetName = []
vRowsLabel = []
vColsLabel = []
vUseHeader = []

vDataSheet.append(mResultPAnt)
vSheetName.append('PrdeMercado')
vRowsLabel.append(reg_names)
vColsLabel.append(product_names)
vUseHeader.append(True)

vDataSheet.append(mQuantMkt)
vSheetName.append('QtdeMercado')

```

```

vRowsLabel.append(reg_names)
vColsLabel.append(product_names)
vUseHeader.append(True)

mResultQQ=ConverteInt(mResultQQ)

for f in range(nNumFirmsMax):
    vDataSheet.append(mResultQQ[f,:,:])
    vSheetName.append('QuantFirma'+str(f))
    vRowsLabel.append(reg_names)
    vColsLabel.append(product_names)
    vUseHeader.append(True)

QY = np.zeros([nNumRefineriesMax*nNumMarketsMax,nNumProductsMax], dtype=float)
for j in range(nNumRefineriesMax):
    for k in range(nNumMarketsMax):
        for p in range(nNumProductsMax):
            QY[j*nNumMarketsMax+k, p]= int(mResultQY[f, j, k, p]*100)/100

vDataSheet.append(QY)
vSheetName.append('Qy'+str(f))
vRowsLabel.append(reg_names)
vColsLabel.append(product_names)
vUseHeader.append(False)

if mFirmTypes[f] == 1:
    QX = np.zeros([nNumRefineriesMax*nNumInputMax,nNumOperModeMax], dtype=float)
    for j in range(nNumRefineriesMax):
        for i in range(nNumInputMax):
            for o in range(nNumOperModeMax):
                QX[j*nNumInputMax+i, o]= int(mResultQX[f, j, i, o]*100)/100

vDataSheet.append(QX)
vSheetName.append('QX' + str(f))
vRowsLabel.append(reg_names)
vColsLabel.append(operation_mode)
vUseHeader.append(False)

if mFirmTypes[f] == 1:
    QE = np.zeros([nNumRefineriesMax * nNumInputMax], dtype=float)
    for j in range(nNumRefineriesMax):
        for i in range(nNumInputMax):
            QE[j * nNumInputMax + i] = int(mResultQE[f, j, i] * 100) / 100

vDataSheet.append(QE)

```

```
vSheetName.append('QE' + str(f))
vRowsLabel.append(refiners_names)
vColsLabel.append(input_names)
vUseHeader.append(False)

support.write_data_excel(sDirectoryOutput, "saida.xlsx", vSheetName, vDataSheet,
vRowsLabel, vColsLabel,
vUseHeader)

print("Terminou ")
sys.exit(0)
```