



ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA DEMANDA DO ETANOL E DA GASOLINA EM FUNÇÃO DA EVOLUÇÃO DA FROTA DE VEÍCULOS LEVES NO BRASIL

Marcelo Kenji Shibuya¹, Mário Mollo Neto², Irenilza de Alencar Nääs³

¹Doutorando, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da UNIP, São Paulo, Brasil. (marcelo.shibuya@gmail.com)

²Professor Doutor, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da UNIP, São Paulo, Brasil.

³Professora Doutora, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da UNIP, São Paulo, Brasil.

Recebido em: 30/09/2013 – Aprovado em: 08/11/2013 – Publicado em: 01/12/2013

RESUMO

A introdução da tecnologia *flexfuel* determinou uma nova dinâmica na demanda de combustíveis no Brasil. Com a aceitação por parte dos consumidores e a evolução dos veículos *flexfuel* na frota brasileira de veículos, a decisão pelo combustível passou a ser realizado no momento do abastecimento. Dentre os fatores que levam o proprietário dos veículos a decidirem pelo combustível a ser utilizado, pode-se relacionar a paridade de preços entre o etanol hidratado e a gasolina, a autonomia do veículo, a preferência pelo combustível com menor emissão de gases do efeito estufa e a possibilidade de adulteração, conforme aponta estudos realizados pela EPE (Empresa de Pesquisas Energéticas) no ano de 2012. Este artigo apresenta, utilizando-se de técnicas de simulação em dinâmica de sistemas, a análise do comportamento da demanda da gasolina, etanol hidratado e etanol anidro em função da evolução da frota de veículos leves no país para o período de 2013 a 2020. Ao final do artigo, o comportamento da demanda de combustíveis é analisado, sugerindo-se modificações nas políticas energéticas do país.

PALAVRAS CHAVE: Biocombustíveis, Dinâmica de Sistemas, Simulação.

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF THE DEMAND FOR ETHANOL AND GASOLINE DUE TO THE EVOLUTION OF THE LIGHT VEHICLE FLEET IN BRAZIL

ABSTRACT

The introduction of flexfuel technology led to a new dynamic to fuel demand in Brazil, allowing the owners of vehicles equipped with this technology to decide the fuel being used at the time of supply. Among the factors that lead the vehicle's owner to decide the fuel to be used, could be related to a price parity between hydrous ethanol and gasoline, the autonomy of the vehicle, the preference for fuel with lower emissions of greenhouse gases and the possibility of tampering, as shown by studies conducted by the EPE (Energetic Research Company). This paper presents, using simulation techniques for dynamic systems, the analysis of the demand for gasoline, hydrous ethanol and anhydrous ethanol as a function of the evolution of the light vehicle fleet in Brazil for the period 2013-2020. At the end of this article, the behavior

of the demand for fuels is analyzed, suggesting changes in the country's energy policies.

KEYWORDS: Biofuels, System Dynamics, Simulation.

INTRODUÇÃO

No Brasil, com o início da fabricação e comercialização dos veículos *flexfuel* em 2003, houve um aumento significativo da utilização do etanol hidratado e anidro como combustíveis carburantes. De acordo com o BNDES (2008), a gasolina comercializada no Brasil possui uma proporção de etanol anidro, que é adicionada na porcentagem de 20% a 25%, cuja função é a de ser um aditivo antidetonante à gasolina pura. De acordo com a ANP (2013), no ano de 2012 a produção total de etanol anidro e o hidratado foi de 23,54 milhões de metros cúbicos e a produção de gasolina A (gasolina pura sem adição de etanol anidro) foi de 31,74 milhões de metros cúbicos.

Este trabalho teve como objetivo simular, através da Dinâmica de Sistemas, a demanda brasileira de combustíveis utilizados na frota de veículos leves, envolvendo o etanol anidro, etanol hidratado e a gasolina C. Para tanto, considerou-se a frota brasileira de veículos automotores leves, constituídos pelos automóveis e comerciais leves. A simulação foi realizada para um período de 96 meses, compreendendo o início da simulação no ano de 2013 e final no ano de 2020. Para a modelagem, foram utilizadas as funções matemáticas inerentes às previsões de demandas publicadas pelos órgãos setoriais, incluindo a evolução da frota de veículos, a paridade entre os preços dos combustíveis durante os meses do ano e da decisão do proprietário de veículos *flexfuel* no momento do abastecimento com relação à escolha do combustível a ser utilizado.

Para fins de análise, o trabalho considerou três cenários para a simulação, considerando a paridade de 60%, que favorece a utilização do etanol hidratado, 70% que seria a razão de preços em que o consumidor possa optar por qualquer um dos combustíveis em questão e a paridade de 80% que é altamente favorável ao abastecimento com gasolina C.

Ao final do estudo são apresentados os resultados obtidos na simulação e as conclusões que mostram o comportamento da demanda dos combustíveis em cada cenário simulado.

REFERENCIAL TEÓRICO

Contextualização da demanda de combustíveis no Brasil

A produção e comercialização de veículos *flexfuel*, iniciada à partir do ano de 2003, determinou uma nova dinâmica à demanda de combustíveis no Brasil. De acordo com a EPE (2013), com a introdução da tecnologia *flexfuel*, que permite que os veículos sejam abastecidos com o etanol hidratado, gasolina C, ou a mistura de ambos em qualquer proporção, o consumidor ganhou a possibilidade de optar pelo combustível de sua preferência no momento do abastecimento.

Embora os veículos *flexfuel* possam ser abastecidos com etanol hidratado ou gasolina C, é necessário lembrar que a gasolina C tem um percentual de etanol anidro, que pode variar de 20% a 25%, conforme apontado pela ANP (2005).

De acordo com BNDES (2008), considerando-se o poder calorífico da gasolina misturada com etanol anidro e do etanol hidratado, só se constituirá em

vantagem econômica para o consumidor, caso o preço desse último seja de até 70% do preço da gasolina C comercializada nas bombas de abastecimento.

A Figura 1 mostra o gráfico da evolução da frota de veículos leves no Brasil no período de 2003 a 2012, onde pode se observar o aumento significativo da frota de veículos *flexfuel* e a redução da frota de veículos à gasolina. No mesmo gráfico, pode-se visualizar a evolução do consumo de etanol hidratado e anidro e gasolina A.

A ANFAVEA (2013) classifica os veículos leves em automóveis e comerciais leves, sendo este último constituído pelas vans, camionetas, *pick-ups* e furgões.

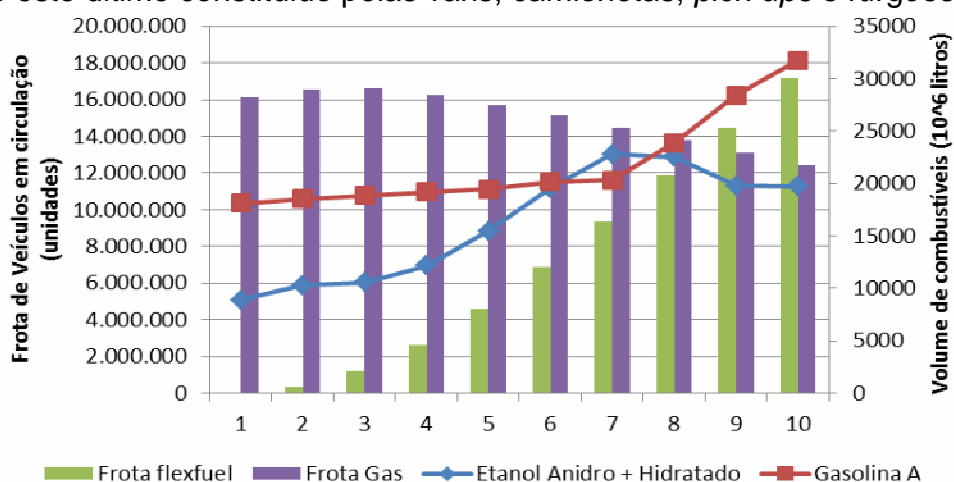


FIGURA 1 – Consumo de combustíveis e evolução da frota de veículos leves no Brasil.

Fonte: ANP (2013) e ANFAVEA (2013).

Na Figura 1, pode-se observar ainda, nas curvas de demandas de combustíveis, que apesar do crescente aumento da frota de veículos *flexfuel* no período considerado, à partir do ano de 2009 o consumo de etanol hidratado tem decrescido, o consumo de gasolina A tem aumentado. MILANEZ *et al.* (2012) comentam que a queda do consumo do etanol hidratado e o conseqüente aumento do consumo da gasolina se deve ao aumento de preços médios de 27% do etanol hidratado e anidro praticados pelas usinas entre as safras de 2008-2009 e 2010 e 2011, fazendo com que o consumidor passasse a optar pela gasolina.

A Tabela 1 relaciona a frota circulante de veículos leves no Brasil, obtida à partir de MMA (2011). Tais dados consideram a frota estimada à partir de dados oficiais da ANFAVEA e DENATRAN e estimativas do MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia) e SINDIPEÇAS, bem como a equação matemática de sucateamento de veículos em função da idade da frota, que será utilizada na simulação dinâmica. A Tabela 1 mostra a frota estimada de veículos leves, cujos valores serão utilizados como quantidades iniciais para a simulação.

TABELA 1 – Frota estimada de veículos leves no final do ano de 2012.

Tipo de Veículo / Combustível	Frota estimada no final do ano de 2012 (unidades)
Automovel / Gasolina C	10.818.489
Automóvel / Etanol Hidratado	1.009.509
Automóvel / <i>FlexFuel</i>	15.321.615
Comercial Leve / Gasolina C	1.587.787
Comercial Leve / Etanol Hidratado	111.065
Comercial Leve / <i>FlexFuel</i>	1.824.110

Fonte: MMA (2011).

MILANEZ et al. 2012) comentam que o fato da existência de um combustível alternativo à gasolina comercializada no país é importante para o equilíbrio da balança comercial brasileira, que ainda importa gasolina para suprir as necessidades internas. PETEAN et al. (2011) definem que o petróleo extraído do Brasil é de baixa qualidade e a capacidade de refino é ainda deficitária, resultando em necessidade de importação desse combustível em alguns períodos do ano, sendo então o consumo do etanol hidratado um fator benéfico para evitar a necessidade de importação do combustível fóssil. De acordo com os mesmos autores, o Brasil importou em 2010 o montante de 505 milhões de litros de gasolina e a região Nordeste continua importando etanol dos Estados Unidos.

PETEAN et al. (2011) afirmam que para um aumento do consumo de gasolina, considera-se realizar uma mistura com proporções maiores de etanol anidro (até a proporção de 25%) e vice-versa. BNDES (2008) considera que a mistura do etanol anidro à gasolina, além da função de equilibrar a necessidade de importação de gasolina, cumpre uma importante função técnica ao motor de ciclo *Otto* (motor de combustão interna), sendo um aditivo antidetonante a esse combustível.

Influência da Paridade na Demanda dos combustíveis

A EPE (2013) publicou uma pesquisa realizada em todo o território nacional, para analisar o comportamento dos usuários de automóveis *flexfuel*. Além da análise de fatores qualitativos que levam o consumidor a decidir pelo combustível a ser utilizado, como a preocupação com o meio ambiente, o rendimento do motor, a bandeira dos postos de preferência, a pesquisa analisou a porcentagem de volume do etanol utilizado pelos consumidores em função da paridade de preços. A função matemática resultante desta análise está descrita na Equação 1.

$$\frac{V_e}{V_t} = \frac{1}{[1+0,001685 \times (6567,5754)^{P_e/P_g}]} \quad \text{Eq. 1}$$

Fonte: EPE (2013)

De acordo com a Equação 1, tem-se as seguintes variáveis:

- V_e = Volume de etanol hidratado.
- V_t = Volume total de combustível (soma de etanol hidratado e gasolina C).
- P_e = Preço do etanol hidratado.
- P_g = Preço da gasolina C.

Outro estudo foi realizado por FREITAS & KANEKO (2011), onde se demonstrou que o consumo de etanol está diretamente correlacionado com o aumento da frota de veículos *flexfuel*, tendo pouca influência a renda do consumidor na opção pelo combustível a ser abastecido nesses veículos. De acordo com os autores, o crescimento da frota de veículos tem uma correlação direta com o crescimento da demanda por etanol no país, sendo que para cada 1% de crescimento da frota, tem se um aumento de 4,4% na demanda de etanol. Além disso, de acordo com os mesmos autores, é necessário considerar a capacidade produtiva do etanol, onde espera se que haja aumento futuro no preço do etanol para reduzir a demanda por esse produto, equilibrando se assim a produção e a demanda pelo biocombustível.

A Tabela 2 mostra o histórico da paridade média mensal para todos os estados brasileiros entre o etanol hidratado e a gasolina C à partir de 2007. Ao analisar os dados, pode-se verificar que desde o ano de 2010, a paridade de preços não tem sido favorável para o abastecimento de etanol hidratado, estando acima de 70%, conforme motrado na tabela através das células preenchidas na cor cinza. Este aumento da paridade ocorrido no período entre 2011 a 2012 explica a queda da demanda do etanol hidratado apresentada na Figura 1.

TABELA 2 – Paridade de preços entre o etanol hidratado e gasolina C (em %).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2007	62,91	63,13	62,99	65,78	65,85	60,11	56,11	54,67	53,93	53,25	56,19	59,46
2008	59,72	58,80	59,14	59,25	59,33	58,50	58,64	58,78	59,23	60,02	60,20	60,22
2009	60,30	61,10	60,44	59,05	57,89	56,13	57,22	57,91	59,74	64,62	66,61	67,78
2010	74,28	76,06	70,58	65,86	62,82	60,56	61,21	62,49	62,98	66,21	67,58	69,55
2011	71,35	72,31	78,92	83,01	74,02	70,03	72,41	72,81	73,16	72,91	73,93	74,73
2012	74,15	72,49	72,88	72,43	71,87	70,96	69,95	69,36	69,34	69,13	69,02	70,30

Fonte: MAPA (2013).

A capacidade produtiva do etanol é um dos fatores que pode influir na oferta deste combustível e conseqüentemente no seu preço. No estudo realizado por MILANEZ et al. (2012), estima-se que a taxa de crescimento da capacidade produtiva do etanol hidratado e anidro das usinas instaladas no país não seja suficiente para atender à demanda de desse biocombustível. A Figura 2 mostra a previsão de demanda e a capacidade produtiva estimada entre o período de 2011 a 2015.

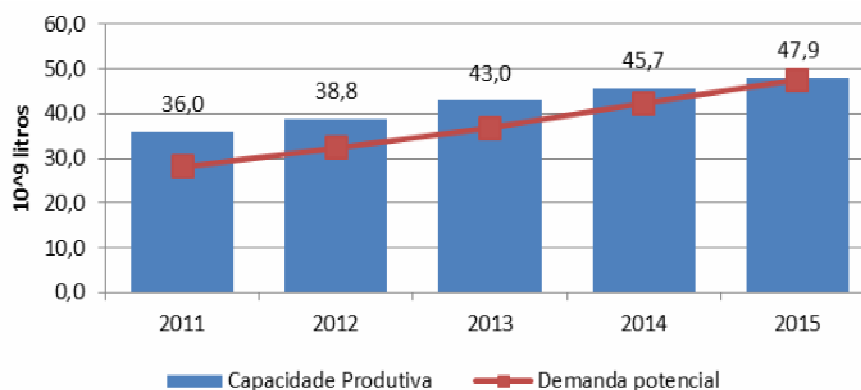


FIGURA 2 – Previsão da capacidade produtiva estimada e demanda potencial de etanol.

Fonte: MILANEZ et al. (2012).

Dinâmica de Sistemas

WANG et al. (2008) definem que o desenvolvimento da DS por Forrester, foi obtido com base na teoria de controle por realimentação, assunto este muito utilizado na Engenharia Elétrica para controle de sistemas e servomecanismos. Os mesmos autores acrescentam ainda que a DS é realizada através de laços de realimentação, variáveis e equações. O laço de realimentação é definido como uma malha fechada de controle, que envolve causas e efeitos inerentes ao sistema em análise.

De acordo com STERMAN (2000), a Dinâmica de Sistemas (DS) é uma metodologia e técnica de modelagem e simulação executada em computador para a compreensão do comportamento dinâmico de sistemas complexos, cujo enfoque é analisar e solucionar problemas complexos para obtenção de melhores políticas e projetos de sistemas. Nesse contexto, a demanda de combustíveis no país pode ser considerada como um sistema dinâmico, cuja demanda está atrelada a diversos fatores como a frota circulante de veículos, a paridade de preços entre os combustíveis, a distância média percorrida pela frota e o rendimento dos veículos em função do combustível utilizado.

Atualmente, são utilizadas diversas abordagens para a simulação de sistemas dinâmicos, tais como a abordagem Analítica e a Dinâmica de Sistemas. A abordagem analítica envolve a utilização de equações diferenciais para a solução de problemas, sejam elas de primeira ou segunda ordem, cuja solução dos problema pode ser obtida através da transformada de Laplace, conforme cita OGATA (2010).

POLES (2013) define que a DS envolve a identificação de relações de causa e efeito entre as variáveis de um sistema complexo, a fim de realizar uma comparação entre o sistema real e o comportamento dinâmico do modelo que representa o sistema. LÄTILLÄ et al. (2010) definem que a DS é modelada por sete elementos básicos a saber: fontes, fluxos de entrada, fluxos de saída, estoques, sumidouros (escoadouro), variáveis e laços de realimentação. De acordo com os autores, os sete elementos são combinados e as variáveis definidas através das suas fórmulas ou expressões matemáticas, possibilitando assim a modelagem e resolução de sistemas complexos.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar a simulação, optou-se pelo *software Insight Maker*[®] por ser este um *software* livre e que opera de forma similar aos demais *softwares* comerciais disponível no mercado, tais como o Stella[®], PowerSim[®] e Vensim[®].

De acordo com o manual de operações do *Insight Maker* (2013), existem nove tipos de blocos/funções básicas para a elaboração de um modelo: *stocks* (estoques), *flows* (fluxos), *variables* (variáveis), *links* (conexões), *convertes* (conversores), *states* (estados), *transitions* (transições), *agent populations* (representação da população), *actions* (ações).

Para a simulação, procurou-se analisar o consumo de gasolina C e do etanol hidratado, no período de 2013 a 2020, para a frota brasileira de veículos compostos por automóveis e comerciais leves. Utilizou-se para tanto, intervalos mensais para a simulação, possibilitando-se assim, a análise do impacto das variações dos novos veículos licenciados e da variação da paridade entre os dois combustíveis ao longo do tempo de simulação.

A Figura 3 mostra o diagrama esquemático utilizado para a simulação da demanda de etanol hidratado e gasolina C para os automóveis *flexfuel*.

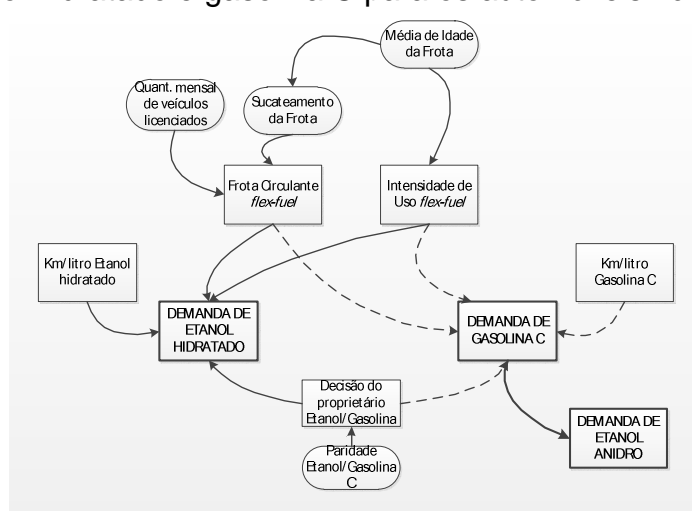


FIGURA 3 – Diagrama esquemático da demanda de etanol hidratado para veículos *Flexfuel*.

Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme o diagrama esquemático da Figura 3, a demanda total de etanol hidratado depende das seguintes variáveis: a decisão do proprietário do veículo, que por sua vez depende da paridade do preço entre os dois combustíveis. Considerando a frota circulante de veículos, esta depende da quantidade mensal de veículos licenciados e da quantidade de veículos sucateados. Ainda como variáveis no sistema simulado, foi considerada a intensidade de uso da frota e o rendimento do combustível utilizado (em km/l). As funções matemáticas e demais variáveis utilizadas para elaborar o modelo de simulação no *Insight Maker* são apresentados nos subitens a seguir. A demanda da gasolina C tem a mesma base de cálculo utilizada para o etanol hidratado.

A determinação da demanda de etanol anidro foi realizada mediante a proporção de 25% da demanda de gasolina C.

Critérios de decisão do combustível a ser utilizado para veículos *flexfuel*

Para a decisão do combustível a ser abastecido em veículos *flexfuel*, utilizou-se a função definida na Equação 1, obtida à partir de EPE (2013). Note que a razão P_e/P_g da Equação 1 (preço do etanol dividido pelo preço da gasolina C) é a paridade entre os dois combustíveis, que se trata de um dos principais fatores de decisão pela escolha entre um dos combustíveis.

Na Tabela 3, define-se o cálculo da paridade média para cada mês do ano e a taxa de variação mensal da paridade. As paridades médias mensais foram calculadas através da média das paridades dos meses para o período de 2003 a 2012, a média geral foi obtida à partir da média das paridades médias mensais e a taxas de variação mensal das paridades foram calculadas mediante a Equação 2.

$$\text{Taxa de Variação mensal da Paridade} = \frac{\text{Paridade Média Mensal}}{\text{Média Geral}} \quad \text{Eq. 2}$$

TABELA 3 – Paridade média mensal e Taxa de Variação Mensal da Paridade (período de 2003 a 2012, %).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Paridade Média Mensal (%)	65,85	66,54	66,91	66,81	64,40	61,58	61,12	61,69	61,72	62,74	63,59	64,71
Paridade Média Geral	63,97%											
Taxa de Variação Mensal da Paridade (sem unidade)	1,03	1,04	1,05	1,04	1,01	0,96	0,96	0,96	0,96	0,98	0,99	1,01

Fonte: Adaptado de MAPA (2013).

A Taxa de Variação Mensal da Paridade tem o objetivo de simular as variações da paridade entre os combustíveis, devido as oscilações dos preços do etanol hidratado e da gasolina C ao longo do ano. Analisando-se o Relatório Final da Safra 2012-2013 publicada pela UNICA (2013), pode-se observar que a safra de cana de açúcar e a produção de etanol tem início entre os meses de março e abril de cada ano e o término da safra entre os meses de novembro a dezembro. Via de regra, no período de safra da cana de açúcar, os preços do etanol hidratado tem sido mais vantajosos ao consumidor, ao contrário do período de entressafra, quando o biocombustível tem o seu preço elevado e o consumidor opta pelo combustível

fóssil. Pode-se observar que a Taxa de Variação Mensal da Paridade calculada na Tabela 3 é menor entre os meses de maio a dezembro, que é justamente o período de safra da cana de açúcar.

Frota circulante de veículos

De acordo com a ANFAVEA (2013), no ano de 2012 foram licenciados 136.365 automóveis à gasolina, 2.715.130 veículos *flexfuel*, 137.557 comerciais leves à gasolina e 447.809 comerciais leves *flexfuel*. No estudo realizado pelo MMA (2011), considera-se que ao final do ano de 2012, a frota circulante de veículos foi de 10.818.489 veículos à gasolina, 15.321.615 veículos *flexfuel*, 1.587.787 comerciais leves à gasolina e 1.824.110 comerciais leves *flexfuel*. Para a simulação, foi considerada a frota estimada em MMA (2011). Cabe aqui observar que não foram considerados os automóveis e comerciais leves fabricados para a utilização exclusiva de etanol, tendo em vista que os mesmos não são mais fabricados e representam uma parcela pequena da frota circulante.

Analisando-se as quantidades licenciadas no período de 2010 a 2012 para os veículos leves em ANFAVEA (2013), verificou-se que as quantidades de veículos licenciados não são constantes ao longo dos meses do ano, conforme apresenta a Tabela 4. Para fins de obtenção da taxa mensal de novos veículos que irão ser adicionadas à frota existente de veículos na simulação, calculou-se a razão entre as médias mensais de veículos licenciados para o período de 2010 a 2012 e a média anual de veículos licenciados. As quantidades mensais de veículos licenciados, incluindo os automóveis e comerciais leves para a utilização de etanol hidratado e gasolina e os valores calculados da percentagem mensal de novos veículos licenciados estão definidos na Tabela 4.

TABELA 4 – Quantidades mensais de veículos leves licenciados (10³ unidades).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2010	213,3	221	353,7	277,8	251,1	262,8	302,3	312,8	307,1	303,2	328,5	381,6	3.515,1
2011	244,9	274,2	306,1	289,2	318,5	304,3	306,2	327,6	311,6	280,6	321,6	348,4	3.633,2
2012	268,3	249,5	300,6	257,9	287,5	353,2	364,2	420,1	288,1	341,6	311,8	359,4	3.802,1
Média	242,2	248,2	320,1	274,9	285,7	306,8	324,2	353,5	302,3	308,5	320,6	363,1	3650,2
%	6,63	6,80	8,77	7,53	7,83	8,40	8,88	9,68	8,28	8,45	8,78	9,95	

Fonte: ANFAVEA. (2013-A).

Para a simulação, considerou-se a entrada em circulação de 2,5 milhões de automóveis e 450 mil comerciais leves a cada ano e considerou-se o sucateamento da frota de veículos em função da média de idade da frota. Em estudo realizado pelo MMA (2011), foram definidas as funções de sucateamento dos veículos, sendo a Equação 3 para os automóveis e Equação 4 para os comerciais leves. Observe-se que nas Equações 3 e 4, a variável t representa a idade da frota dos veículos.

$$S_{Automoveis} = e^{-e^{(1,798-0,137(t))}} \quad \text{Eq. 3}$$

Fonte: MMA (2011).

$$S_{Comerciais Leves} = e^{-e^{(1,618-0,141(t))}} \quad \text{Eq. 4}$$

Fonte: MMA (2011).

Intensidade de uso dos veículos

A intensidade de uso representa a quantidade de quilômetros que um determinado veículo é utilizado no período de um ano. De acordo com o trabalho publicado pelo MMA (2011), define-se que a intensidade de uso dos automóveis e veículos comerciais leves decresce de acordo com a idade do veículo, conforme mostra o gráfico da Figura 4. As funções matemáticas para a intensidade de uso dos automóveis e comerciais leves foram ajustadas através do *software LabFit* e estão representadas na Tabela 5, juntamente com os respectivos coeficientes de correlação.

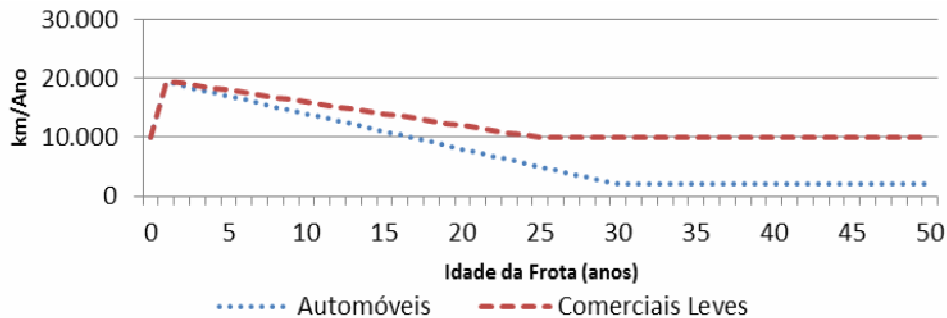


FIGURA 4 – Gráfico de intensidade de uso para automóveis e comerciais leves.
Fonte: MMA (2011).

TABELA 5 – Funções matemáticas para as intensidades de uso dos veículos.

	Função matemática para intensidade de uso	Coefficiente de correlação
Automóveis	$I_{uso(automovel)} = 22.711,67 * e^{-(0,05692*t)}$	0,97
Comerciais leves	$I_{uso(comercial)} = 22.554,49 - 3419 * \ln(t)$	0,91

Fonte: Elaborado pelo autor à partir de dados do MMA (2011).

Rendimento dos combustíveis de acordo com o veículo

Como parâmetros de rendimento médio dos combustíveis em trajetos urbanos e estrada, expresso em quilômetros que um veículo é capaz de se locomover com um litro de combustível, adotou-se os valores utilizados pelo MMA (2011) que estão registrados na Tabela 6. Cabe observar que nessa tabela, a distância percorrida por um veículo com motorização para ser abastecido exclusivamente com gasolina C é menor que a distância percorrida pelo veículo *flexfuel* quando abastecido com gasolina C. ABREU (2007) justifica que o menor rendimento para os veículos destinados ao abastecimento exclusivo com gasolina C, é devido a prevalecerem na frota os veículos de maior porte e mais potentes, com menor rendimento de combustível.

TABELA 6 – Rendimento médio dos combustíveis para automóveis e comerciais leves.

Tipo do Veículo (Automóveis e Comerciais Leves)	Combustível	
	Etanol Hidratado	Gasolina C
<i>Flexfuel</i>	8,0 km/l	12,0 km/l
Gasolina C	- x -	9,5 km/l

Fonte: MMA (2011).

Cenários utilizados na simulação

A simulação foi realizada buscando-se em três cenários, o impacto da variação da paridade na demanda de etanol e gasolina C para a frota circulante de veículos. Sendo assim, as quantidades anuais de licenciamento de novos veículos, as taxas mensais de variação da paridade, o critério de decisão do combustível a ser utilizado para os veículos *flexfuel*, a intensidade de uso e o rendimento dos combustíveis foram mantidos constantes.

Os valores de paridade utilizados na simulação foram de 60%, 70% e 80%. Note que o primeiro cenário representa uma condição altamente favorável ao consumo de etanol hidratado, o segundo cenário em que é indiferente ao consumidor a opção por qualquer um dos combustíveis e o último, um cenário altamente favorável ao consumo de gasolina C.

Modelagem do sistema no software *Insight Maker*

A modelagem obtida no software *Insight Maker* está reproduzida na Figura 5. Pode-se observar na figura que a modelagem está dividida em sete blocos, a saber: 1) evolução da frota de automóveis *flexfuel*, 2) evolução da frota de automóveis à gasolina, 3) evolução da frota de comerciais leves *flexfuel*, 4) evolução da frota de comerciais leves à gasolina, 5) decisão do abastecimento com etanol ou gasolina C, 6) cálculo da demanda de etanol hidratado e 7) cálculo da demanda de gasolina C.

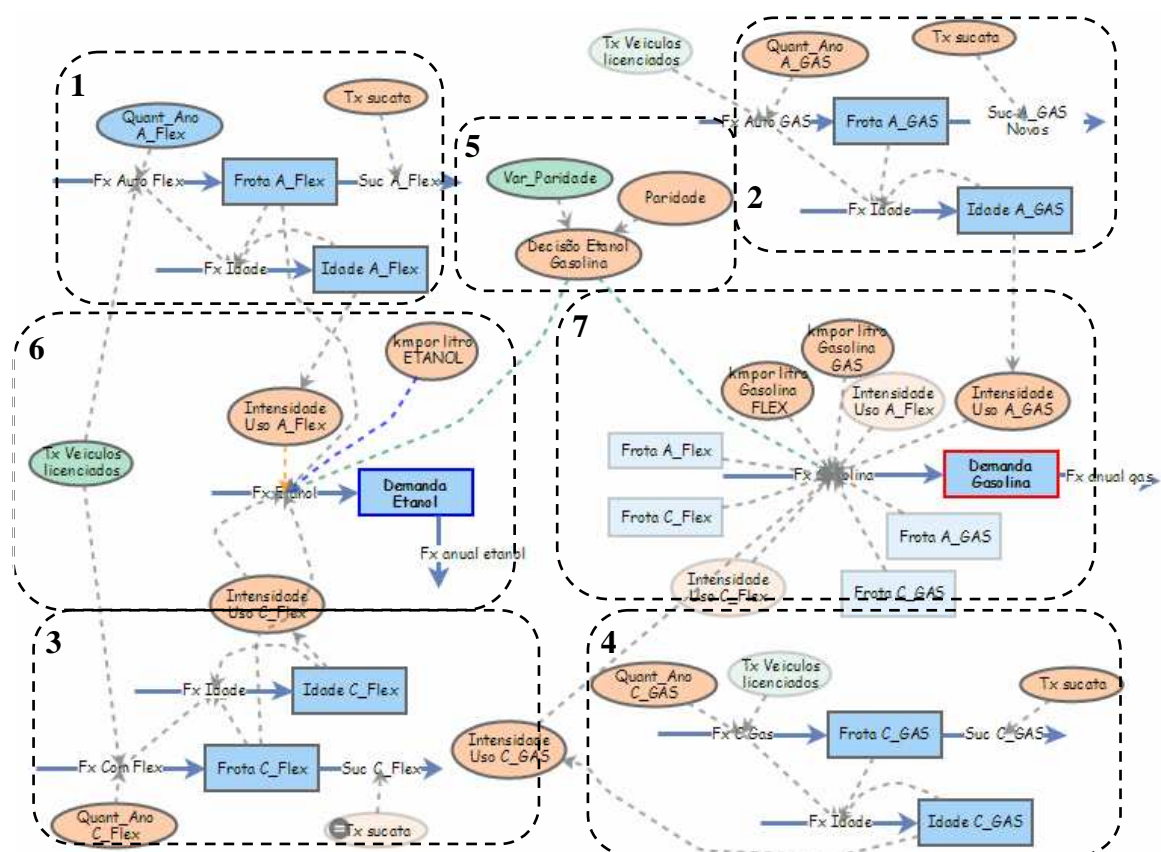


FIGURA 5 – Simulação da demanda de etanol e gasolina C realizada no software *Insith Maker*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

RESULTADOS

A Tabela 7 e a Figura 6 mostram as demandas anuais de combustíveis obtidos à partir dos três cenários propostos na simulação.

TABELA 7 – Demandas anuais de combustíveis de acordo com a paridade de preços (x 10⁶ litros)

Ano	Cenário 1 (paridade 0,60)		Cenário 2 (paridade 0,70)		Cenário 3 (paridade 0,80)	
	Etanol Hid. + Anidro	Gasolina C	Etanol Hid. + Anidro	Gasolina C	Etanol Hid. + Anidro	Gasolina C
2013	29.741,62	30.763,36	20.725,50	37.976,26	15.242,46	42.362,69
2014	31.844,11	31.478,91	22.028,54	39.331,37	16.071,04	44.097,37
2015	33.871,66	32.088,31	23.233,99	40.526,44	16.833,17	45.647,10
2016	35.581,60	32.663,23	24.354,74	41.644,73	17.542,63	47.094,42
2017	37.217,02	33.180,08	25.372,47	42.655,72	18.186,32	48.404,64
2018	38.700,83	33.643,16	26.295,25	43.567,63	18.769,38	49.588,33
2019	40.044,83	34.056,43	27.130,44	44.387,95	19.296,47	50.655,12
2020	41.259,87	34.423,52	27.884,82	45.123,57	19.771,91	51.613,90

Fonte: Elaborado pelo autor à partir da simulação realizada.

As Figuras 6A, 6B e 6C mostram respectivamente os gráficos das demandas mensais do etanol hidratado, anidro e gasolina C para as paridades 06, 07 e 08 obtidas na simulação. As oscilações temporais apresentadas em cada uma das curvas de demanda são devido às variações que ocorrem com o preço do etanol ao consumidor em decorrência dos períodos de safra, quando o preço do etanol hidratado é menor, e período de entressafra.

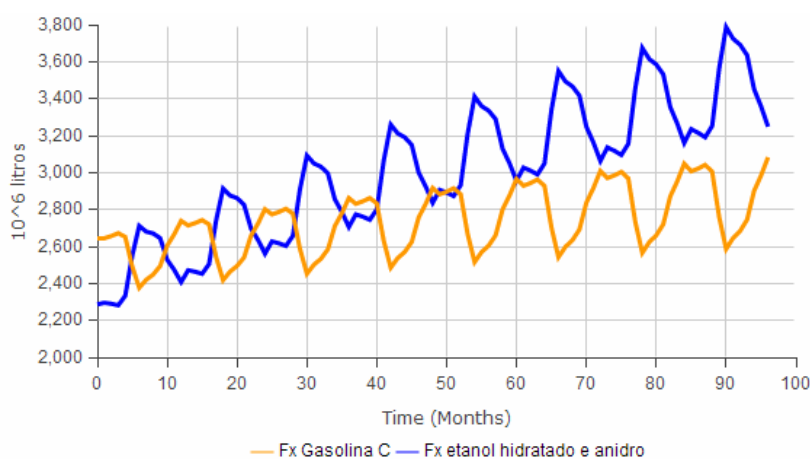


FIGURA 6A – Demanda de combustíveis – paridade 0,6

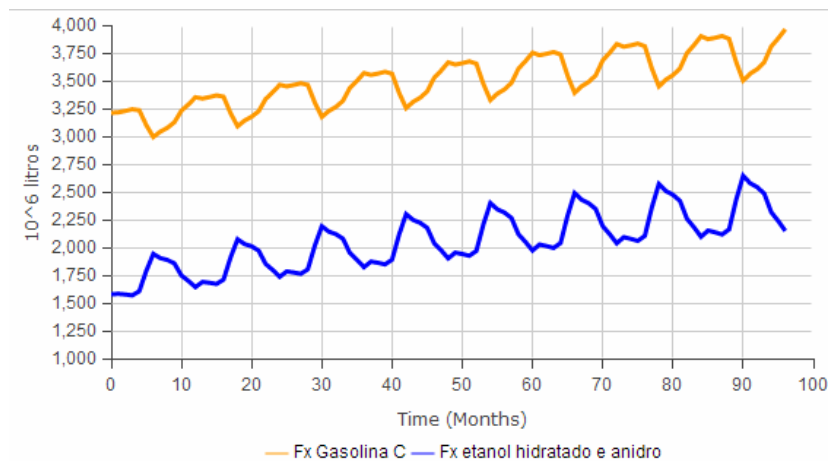


FIGURA 6B – Demanda de combustíveis – paridade 0,7

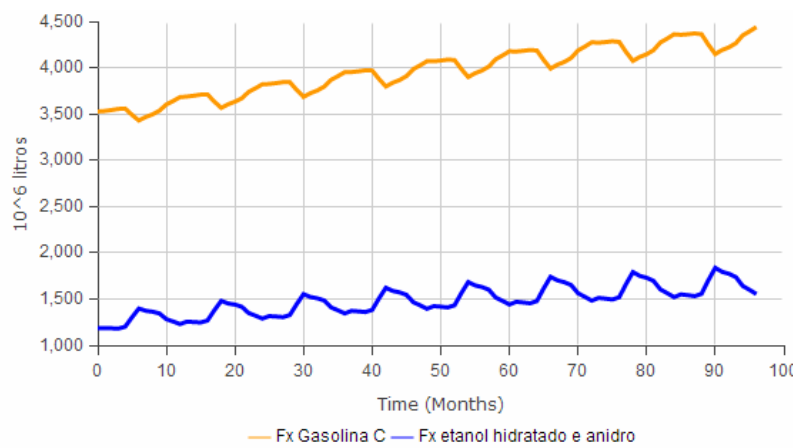


FIGURA 6C – Demanda de combustíveis – paridade 0,8

A Figura 7A mostra o gráfico da evolução da frota de veículos, a Figura 7B o gráfico da idade média da frota e o a figura 7C, o gráfico das intensidades de uso para cada frota de veículos. Conforme comentado na metodologia, a simulação foi ajustada para ser realizada em intervalos mensais. Portanto, o período compreendendo do mês 0 a 12 representa o ano de 2013, o período do mês 13 a 24 representa o ano de 2014 e assim por diante. Note que os resultados apresentados na Figura 7 são constantes para os três cenários propostos na simulação, tendo em vista que os resultados referentes à frota de veículos não se alteram com a paridade.

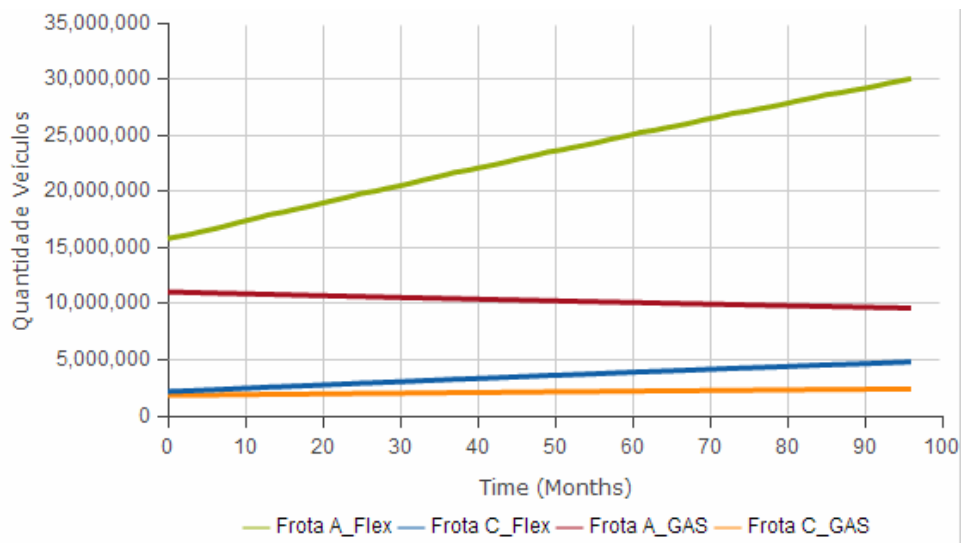


FIGURA 7A – Evolução da frota de veículos no Brasil

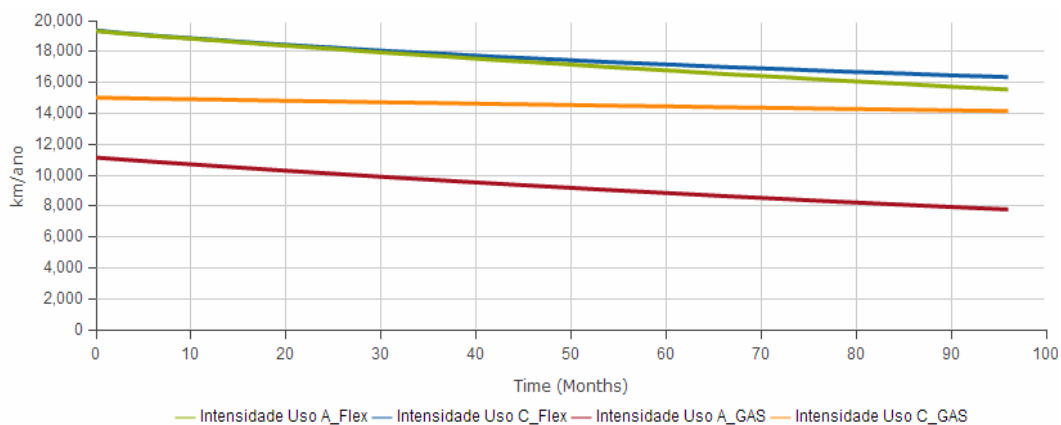


FIGURA 7B - Intensidade de uso para a frota de veículos

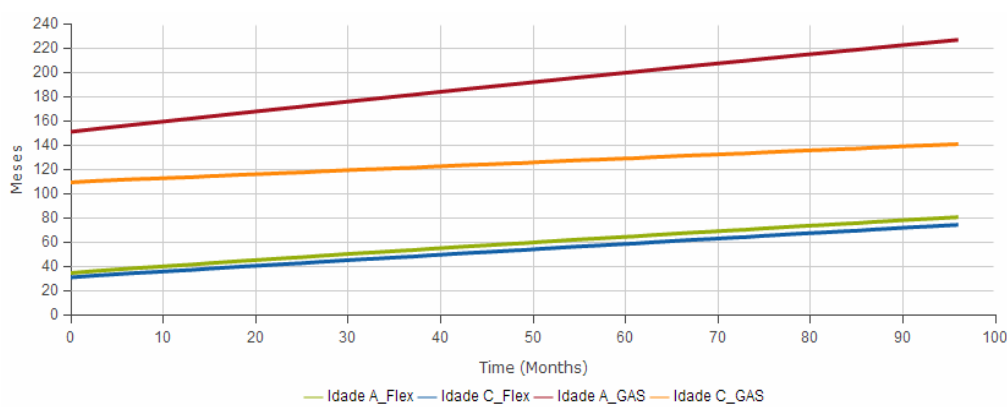


FIGURA 7C - Média de idade da frota de veículos

DISCUSSÃO

A simulação da demanda de etanol hidratado e gasolina C realizada em DS no *software Insight Maker* mostrou-se eficaz, atingindo-se os objetivos planejados neste trabalho. Através da metodologia utilizada, foi possível obter as demandas dos combustíveis utilizados para abastecer a frota de veículos leves, levando-se em consideração as variações mensais dos automóveis licenciados, da paridade entre os combustíveis e da intensidade de uso dos veículos em função da idade da frota circulante.

Para validação do modelo apresentado, utilizou-se a paridade de preços entre o etanol hidratado e a gasolina C de 71%, ocorrida em 2012, valor este publicado pelo MAPA (2013) e foi efetuada a simulação das demandas para a frota de veículos existentes em 2012, isto é, de 10.818.489 unidades de veículos à gasolina, 15.321.615 unidades de veículos *flexfuel*, 1.587.787 unidades comerciais leves à gasolina e 1.824.110 unidades comerciais leves *flexfuel*, conforme definido no item 3.2 da metodologia deste trabalho. Os resultados comparativos entre os resultados obtidos na simulação e a demanda de combustíveis publicada pela ANP (2013) estão resumidos na Tabela 8. Conforme se pode verificar, o erro de previsão é de +0,10% para o etanol e de -5,53% para a gasolina C.

TABELA 8 – Comparativo entre a demanda real de combustíveis e demanda estimada na simulação.

Combustível	ANP	Simulação	Erro % de previsão
Etanol hidratado	9.850 x (milhões de litros)	9.860 x (milhões de litros)	+ 0,10%
Gasolina C	39.697 x (milhões de litros)	37.500 x (milhões de litros)	- 5,53%

Fonte: UNICA (2013)

O erro de previsão para a gasolina C poderia ser minimizada caso alguns ajustes fossem feitos para as equações utilizadas e para as funções obtidas através do *software* de ajuste de curvas (*LabFit*). Outro fator que poderia justificar o desvio apresentado para a demanda de gasolina C, pode ter sido causado devido à função de opção do combustível a ser utilizado para os proprietários de veículos *flexfuel*, apresentada pela EPE (2013) e descrita neste trabalho na Equação 1. De acordo com esse estudo, os dados foram coletados de todas as regiões do Brasil para a obtenção da função matemática de decisão do consumidor, cujos hábitos de consumo são bastante distintos. O fato de se utilizar uma curva de demanda representativa de todo o país poderia ter sido a causadora do erro apresentado.

Com relação aos valores quantitativos da demanda de combustíveis obtidos na simulação, percebeu-se que a paridade de preços entre os combustíveis influi de forma significativa na demanda de combustíveis. Pode-se tomar como exemplo a demanda de etanol hidratado e anidro para o ano de 2013, sendo a demanda de 29.741,62 milhões de litros com a paridade de 0,60, 20.725,50 milhões de litros com a paridade de 0,70 e 15.242,46 milhões de litros com a paridade de 0,80. A simulação em DS possibilita a determinação das demandas dos combustíveis em função da paridade (o que foi objeto deste estudo) de forma bastante rápida, possibilitando-se assim, fazer a análise da demanda dos combustíveis veiculares através da simulação de diversas paridades entre os preços dos combustíveis.

MILANEZ (2012) e a ANP (2013) definem que a capacidade produtiva de gasolina pelas refinarias brasileiras para 2013 seja da ordem de 21 bilhões de litros anuais e do etanol, incluindo o hidratado e o anidro da ordem de 43 bilhões de litros anuais. Observando-se os resultados obtidos na simulação para o ano de 2013, resumidos na Tabela 9, pode-se observar que em qualquer cenário de simulação, a demanda de gasolina estará acima da capacidade produtiva pelas refinarias instaladas no Brasil. Um outro ponto importante a ser observado, é a demanda de etanol hidratado e anidro, que em qualquer cenário está aquém da capacidade produtiva. Note que as demandas de gasolina A, que são as obtidas nas refinarias e apresentadas na tabela 9 foram corrigidas em relação aos resultados de simulação, cujos valores eram para a gasolina C. Considerou-se que a gasolina A apresenta 75% de gasolina A e 25% de etanol anidro.

Com relação aos resultados, pode-se ressaltar que a situação dos combustíveis tende a se agravar futuramente, em decorrência do aumento dos volumes consumidos devido ao aumento da frota de veículos. Considera-se importante o estabelecimento de uma diretriz energética para os combustíveis, de forma a possibilitar um melhor equilíbrio das demandas totais de combustíveis utilizados em veículos leves, reduzindo-se o consumo da gasolina e aumentando-se o consumo do etanol e isto pode ser obtido através da análise da paridade de preços ideal, cujo valor é de 0,70.

TABELA 9 – Comparativo entre as demandas obtidas na simulação e capacidades produtivas dos combustíveis para o ano de 2013.

Combustível	Paridade		
	0,6	0,7	0,8
Demanda Gasolina A	23.072	28.482	31771
Capacidade produtiva Gasolina A		21.000	
Demanda Etanol (hidratado + anidro)	29.742	20.725	15.242
Capacidade produtiva etanol (hid. + anid)		43.000	

Fonte: ANP (2013), MILANEZ (2012) e resultados da simulação.

Como trabalhos futuros, poderia se realizar a simulação com dados referentes a cada região do país, cujos valores de paridade são diferentes. Por exemplo, de acordo com dados da UNICA (2013), o preço do biocombustível tem sido favorável somente para os estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Fazendo-se estudos de forma setorizada, os resultados apresentados teriam os seus erros reduzidos e os resultados da simulação poderiam dar sugestões para as possíveis diretrizes para cada região do país, incluindo a possibilidade de sugerir a infraestrutura de armazenagem de biocombustíveis na entressafra, o qual poderia contribuir para a oferta desse combustível a preços mais vantajosos ao consumidor.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi realizada com o apoio da CAPES-PROSUP (Programa de Apoio à Pos-Graduação de Instituições de Ensino Particulares).

REFERÊNCIAS

ABREU, A. A. **Medidas de Eficiência Energética como Instrumento de Mitigação do Aquecimento Global no Setor de Transportes Rodoviário Brasileiro**. Tese de Doutorado, Engenharia de Transportes, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

ANFAVEA – Associação Nacional de Veículos Automotores; **Carta da ANFAVEA 320**; disponível em <http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>, acesso em 21/03/2013(a).

ANFAVEA – Associação Nacional de Veículos Automotores; **Estatísticas**; disponível em <http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>, acesso em 29/04/2013 (b).

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; **Anuário Estatístico 2012**; Brasília/DF. Disponível em http://www.anp.gov.br/?pg=60983#Se__o_2; consultado em 05/06/2013 (a).

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; **Boletim Eletrônico nº 65**; Brasília/DF. fevereiro de 2013 (b).

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; **Resolução nº 36** Brasília/DF. 6 de dezembro de 2005.

BNDES. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável** - Rio de Janeiro, 2008.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Avaliação do Comportamento dos Usuários de Veículos *Flex-Fuel* no Consumo de Combustíveis no Brasil** - Brasília, 2013.

FREITAS, L. C., KANEKO, S.; **Ethanol Demand under the Flex Fuel Technology Regime in Brazil.**; Energy Economics 33, pg 1146 – 1154. 2011

INSIGHT MAKER. **Insight Maker Guide**. Disponível em <http://insightmaker.com/help>, acesso em 12/08/2013.

LÄTTILÄ, L.; HILLETOTH, P.; LIN, B.; **Hybrid Simulation Models – When, Why, How**. Expert Systems with Applications 37. Pg 7969-7975. 2010.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Comparativo Etanol Hidratado x Gasolina no Brasil – 2002 a 2013**. Brasília. 2013

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; GARCIA, J. L. F.; REIS, B. L. S. F. S.; **O Déficit de Produção de Etanol no Brasil entre 2012 e 2015: Determinantes, Consequências e Sugestões de Política**. BNDES Setorial – Biocombustíveis. Brasília. 2012.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. Brasília. 2011

PETEAN, G. H., NORILLER, R. M.; SANTOS, L. C.; CHAEBO, G.; SANCHES, F. T.; **Etanol Hidratado no estado de São Paulo: previsão de preços a partir do método de Holt-Winters**; SIMPEP; 2011.

OGATA, K.; **Engenharia de Controle Moderno**; Prentice Hall, Brasil; 5ª edição; 2010.

POLES, R.; **System Dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies.**; Int. J. Production Economics; 2013

STERMAN, J. D. **Business Dynamics – Systems Thinking and Modeling for a Complex World**; McGraw Hill. 2000

UNICA – União da Indústria da Cana de Açúcar; **Relatório Final da Safra 2012-2013**; disponível em <http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=83>, acesso em 02/06/2013.

WANG, J.; LU, H; PENG, H.; **System Dynamics of Urban Transportation System and its Application**; Journal of Transportation – Systems Engineering and Information Technology. Pg. 83-89. 2008.