

4 Metodologia, aplicações e resultados

Como já discutido na seção 3.1, a flexibilidade proporcionada pelo carro *Flex* é um exemplo de aplicação da opção de troca de insumo. O proprietário de um automóvel com essa tecnologia pode optar em abastecer com gasolina C (com uma porcentagem de etanol anidro), etanol hidratado ou qualquer mistura desses dois combustíveis em qualquer proporção. Sua decisão será tomada dependendo da trajetória do preço dos *inputs* (combustíveis) a fim de minimizar seu gasto no momento do abastecimento do carro.

O preço desses combustíveis (como visto na seção 2.2.1) é livre no mercado e diversos fatores formam seu valor final ao consumidor: preço de realização, impostos federais, PIS/PASEP, COFINS e CIDE, estadual, ICMS, além da logística e margem de cada posto. O imposto estadual, ICMS, pode variar de acordo com o estado e tipo de combustível. São Paulo, por exemplo, tributa o etanol em 12% e a gasolina em 25%, o mesmo não ocorre no estado do Paraná, que tributa o biocombustível nacional em 18% e o fóssil em 28%. Além disso, a localização de usinas\refinarias influencia de forma diferenciada nos preços se considerado o custo de transporte do produto. Desta forma, tentando respeitar as particularidades de cada estado, este trabalho irá calcular a opção associada ao carro *Flex* por região geográfica do Brasil: Nordeste (NE), Norte (N), Centro-Oeste (CO), Sudeste (SE) e Sul (S). A análise por região geográfica permitirá agrupar os estados com as mesmas características e estabelecer a economia do consumidor de uma forma mais detalhada do que se fosse realizado um estudo em âmbito nacional. Serão considerados não só os preços praticados em cada região, mas também a preferência de modelo desse consumidor no momento da compra de um veículo.

A seguir são apresentadas as premissas, os levantamentos de dados e as limitações metodológicas, que permitem calcular a minimização dos custos no momento do abastecimento de um carro *Flex*, por região brasileira e tipo de automóvel.

4.1 Premissas

Para aplicar a Teoria de Opções Reis será necessário estabelecer padrões de consumo por parte do proprietário do veículo *Flex*, assim como definir a vida útil desse ativo, a taxa livre de risco e o prêmio de risco a ser utilizado.

A versão de carro a ser adotado será a 1.0, pois de acordo com a Fenabrave (Federação Nacional de Veículos Automotores), os dois modelos mais vendidos no mercado nacional em 2011 (acumulado até setembro de 2011) foram VW Gol e Fiat Uno. Todos disponíveis em versão 1.0, com motor *Flex-fuel* e preços mais acessíveis ao comprador. A quantidade (acumulado até setembro de 2011) de automóveis vendidos para esses dois modelos no mercado nacional pode ser observada na Tabela 4.1 que segue:

Região	Quantidade vendida por modelo de automóvel	
	VW Gol	Fiat Uno
Nordeste	32.256	39.146
Norte	10.939	9.017
Centro-Oeste	28.252	24.803
Sudeste	104.956	99.596
Sul	46.513	32.861
BR	222.916	205.423

Tabela 4.1: Modelos de automóveis mais vendidos em 2011 (acumulado até setembro de 2011) por região geográfica.

Fonte: Fenabrave.

Se comparados dados por região geográfica, somente a região Nordeste apresenta o Fiat Uno como líder de vendas, os consumidores das demais regiões preferem o VW Gol. Esta diferença será considerada no momento da análise do cálculo do valor da flexibilidade para o consumidor de cada região.

Escolhidos os modelos, é necessário selecionar a versão dos veículos que se deseja analisar, que nesta dissertação foram o Gol 1.0 Ecomotion (G4) 2011 *flex* básico com 2 portas, como representante do VW Gol e o Mille Fire Economy 1.0 2011 *flex* básico e com 2 portas, representante da Fiat Uno. Suas características são representadas na Tabela 4.2 que segue. Nesta tabela também pode ser observada a quantidade mensal de combustível necessária para percorrer mensalmente 1.500³² km (50 km diários) em território urbano por tipo de automóvel:

Características dos veículos	Gol 1.0 Ecomotion (G4) 2011	Mille Fire Economy 1.0 2011
Valor de venda (R\$) *	R\$ 26.160,00	R\$ 23.220,00
Consumo\rendimento urbano de gasolina (Km/L) **	10,5	12,7
Consumo\rendimento urbano de etanol (Km/L) **	7,4	8,9
Máxima relação entre os preços dos combustíveis (etanol/ gasolina)	0,705	0,701
Gasto mensal de gasolina (L)	142,86	118,11
Gasto mensal de etanol (L)	202,70	168,54
Tanque (L)	51	50
Quilômetros rodados por mês (Km)	1.500	1.500
Potência Máxima gasolina (cv)	72	65
Potência Máxima etanol (cv)	76	66

* Valor sugerido pelo fabricante em set 2011.

** Fonte: INMETRO.

Tabela 4.2: Características dos veículos selecionados.

³² Mesmo valor utilizado em Camargo Jr et al.(2011), outra premissa também poderia ser utilizada.

No Brasil, por terem sido criados a partir de carros movidos a álcool, os motores de automóveis *Flex-fuel* normalmente são mais potentes quando se utiliza etanol hidratado, logo, ao se desejar maior desempenho deve-se utilizar esse combustível. No entanto, o rendimento desse combustível por Km é menor se comparado à gasolina, o que provoca um gasto maior de combustível para que o veículo rode a mesma quilometragem que percorreria a gasolina. Como o álcool e a gasolina apresentam diferentes consumos (rendimentos), o CEPEA-USP (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada) recomenda que o motorista não abasteça seu veículo a álcool caso o seu preço ultrapasse cerca de 70% do preço do litro da gasolina. Esse número pode sofrer variações se considerado o tipo de veículo (como pode ser visto na Tabela 4.2 acima), mas como a diferença da relação de preços dos combustíveis entre os dois tipos de veículos escolhidos (Fiat Uno e VW Gol) é menor que 0,6%, será mantida a porcentagem de 70% sugerida pela CEPEA-USP. Desta forma, o etanol hidratado só será utilizado quando o seu preço por litro for abaixo de 70% do litro do preço da gasolina para cada tipo de carro, VW Gol e Fiat Uno. Neste contexto, a escolha dos proprietários do combustível a ser consumido será uma função que dependerá tanto da relação dos preços quanto do gasto mensal de cada combustível.

O proprietário do carro com a tecnologia *Flex* sempre fará uma escolha ótima no momento do abastecimento, optando sempre pelo menor fluxo de caixa mensal de forma a minimizar os seus custos durante a vida útil do automóvel. A Simulação de Monte Carlo será aplicada considerando que a opção irá expirar a cada 1.500 km rodados em um mês. Ou seja, consumidor escolhe um único combustível em todos os momentos de reabastecimento até que sejam percorridos 1.500 Km em um mês. A decisão de abastecimento no mês i será totalmente independente da decisão de outro mês j , $\forall (i, j) \in [1, 60], i \neq j$, como sucessivos vencimentos de opções europeias até o final da vida útil do ativo. Além disso, não haverá custo de troca de combustível entre meses.

Outros dados também necessários para o cálculo dessa opção são os seguintes:

- Vida do ativo: 5 anos (percorrido em 60 meses 90.000 km);
- Taxa livre de risco (Taxa de Juros de Longo Prazo - TJLP de julho a setembro de 2011): 6% a.a, equivalente mensal 0,49% a.m.

- Prêmio de risco³³: 6% a.a, equivalente mensal 0,49% a.m.

4.2 Levantamento de dados

Neste trabalho foram utilizadas as séries históricas mensais dos preços do etanol hidratado e da gasolina C ao consumidor por região geográfica, Nordeste (NE), Norte (N), Centro-Oeste (CO), Sudeste (SE) e Sul (S), no período de julho de 2001 a setembro de 2011 obtidos através do site da Agência Nacional do Petróleo³⁴ (ANP), contendo 123 observações para cada região e tipo de combustível. Estes valores são dados em reais por litro e contemplam o preço de realização de cada combustível, os impostos federais PIS/PASEP, COFINS e CIDE, estadual ICMS, além da logística e margem de cada posto medido. Essa série foi deflacionada pelo índice geral de preços, IGP-DI, fornecido pela Fundação Getúlio Vargas, tendo como mês e ano de referência julho de 2001 (Ver Anexo 7.2.1). Este índice tem abrangência nacional e é calculado mensalmente através da média ponderada de três outros índices de preços: 60% do Índice de Preços por Atacado (IPA), 30% do Índice de Preços ao Consumidor (IPC) e 10% do Índice Nacional de Preços da Construção Civil (INCC). Qualquer outro índice geral de preços poderia ter sido utilizado, não devendo apresentar grandes diferenças no valor final. Estas séries de preços históricas e deflacionadas (base julho de 2001) podem ser observadas nas Figuras 4.1 e 4.2 que seguem:

³³ Mesmo valor utilizado em Bastian-Pinto e Brandao (2007). Em seu trabalho a taxa de conveniência da *commodity* assume o papel de prêmio de risco para o cálculo da medida equivalente de Martingale. Como não se pode calcular a taxa de conveniência, considera-se que o valor do prêmio de risco é de 6% a.a., igual a taxa sem risco, o que daria um custo de capital de 12% a.a, coerente com o custo do capital nesse setor.

³⁴ Disponível em: <http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Index.asp>.

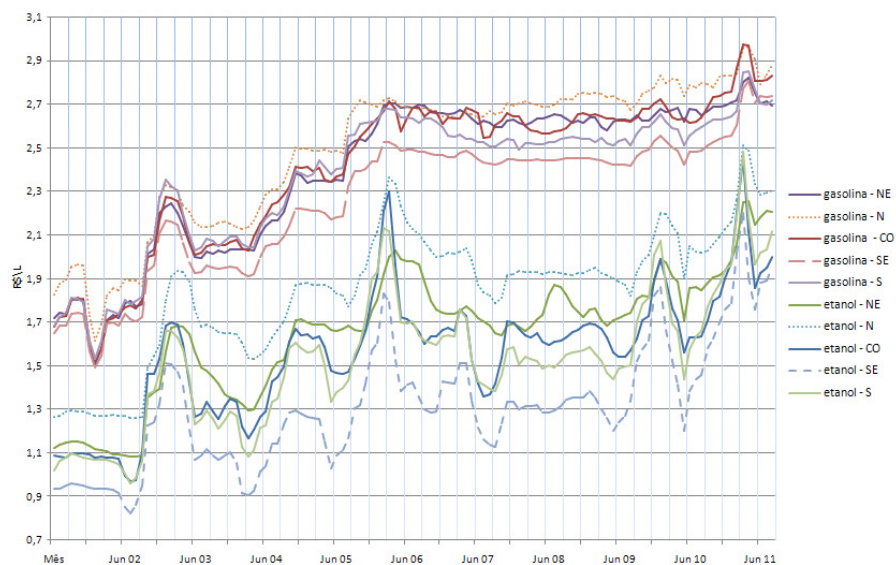


Figura 4.1: Preços médios históricos do etanol e gasolina por região geográfica do Brasil.

Fonte: ANP.

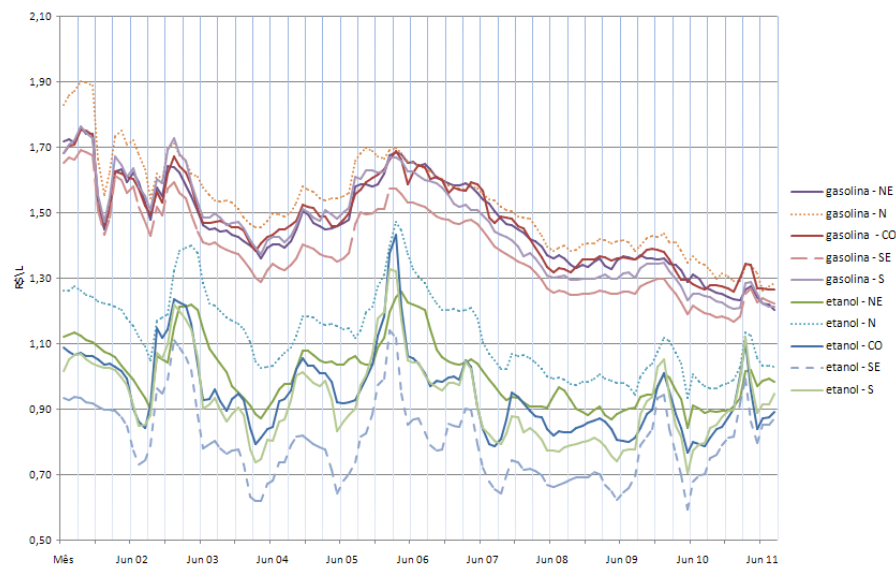


Figura 4.2: Preços médios do etanol e gasolina deflacionados pelo IGP-DI por região geográfica do Brasil, base jul-01.

Através de uma breve análise da Figura 4.1 é possível ver que as séries de preços históricos, tanto do etanol hidratado quanto da gasolina, apresentam uma pequena tendência de crescimento, o que poderia sugerir o emprego do MGB na previsão de seus dados.

Já na série de preços dos combustíveis deflacionada (Figura 4.2), essa tendência desaparece, de forma mais acentuada para o etanol e mais branda para a gasolina. Os preços de ambos os combustíveis flutuam consideravelmente em torno de suas médias até 2005, quando há um grande salto tanto para o etanol quanto para a gasolina, após essa data os preços retornam para níveis não muito abaixo dos anos anteriores. Este comportamento em torno da média do preço dos combustíveis nos sugere a aplicação do MRM. No entanto, não só a análise do gráfico deve ser realizada para a determinação desse modelo, testes estatísticos também devem ser considerados, como será visto na seção 4.6. A série de preços deflacionada será utilizada para determinar os parâmetros do processo estocástico dos preços dos combustíveis.

4.3 Limitações Metodológicas

Uma das limitações encontradas para a realização do presente trabalho foi a escassez de dados para séries mensais de preços de etanol hidratado e gasolina C, por região geográfica, nos períodos anteriores a julho de 2001, o que permitiria uma melhor estimativa dos dados. No entanto, Bastian-Pinto (2009) argumenta que os preços relativos ao álcool só se tornam significativos para análise após 2001, pois até aquele momento havia uma forte influência do preço da gasolina no preço do álcool devido à regulamentação de preços vigente no Brasil. Além disso, o mercado de etanol era muito reduzido antes do início dessa série.

4.4 Paridade entre os combustíveis nas regiões brasileiras

A fim de compreender o mercado do etanol nas diversas regiões geográficas do Brasil a Tabela 4.3 apresenta a relação entre os preços do etanol hidratado e da gasolina C ao consumidor no período de 2003 – 2010 (o ano de 2011 não foi considerado porque seus dados não contemplam todo o ano). Seus valores foram gerados através do cálculo da paridade (etanol/gasolina), considerando a média

dos preços deflacionados pelo IGP-DI (base julho-2001) de cada combustível (etanol hidratado e gasolina C) por ano.

Região	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Nordeste	0.73	0.67	0.70	0.71	0.65	0.67	0.67	0.71
Norte	0.80	0.73	0.73	0.80	0.73	0.71	0.70	0.74
Centro-Oeste	0.68	0.63	0.64	0.68	0.60	0.63	0.62	0.66
Sudeste	0.61	0.54	0.54	0.60	0.54	0.54	0.56	0.62
Sul	0.65	0.60	0.62	0.68	0.61	0.61	0.62	0.67

Tabela 4.3: Paridade média anual dos preços ao consumidor do etanol hidratado e gasolina C.

Como pode ser visto na Tabela 4.3, a região Norte foi a que apresentou a paridade mais desfavorável para o consumidor de etanol em todo o período analisado (2003 a 2010). O que pode ser explicado pela distância de seus estados de centros produtores, com exceção de Tocantins e Rondônia (próximos a Goiás e Mato Grosso, respectivamente) e da baixa produção nessa região. Se considerada a safra de 2008/2009, esta região deteve menos de 0,3%³⁵ da produção nacional de etanol hidratado. Segundo Milanez et.al (2010), algumas regiões brasileiras apesar do potencial de consumo, ainda não se converteram em grandes consumidoras de etanol, pois possuem estados não produtores de cana-de-açúcar, distantes dos centros produtores, o que encarece o preço do etanol hidratado e consequentemente torna a paridade de preços desfavorável³⁶ para o consumidor final.

A região Nordeste possui, como principais produtores regionais de etanol, Alagoas, Pernambuco e Paraíba, que abastecem outros estados dessa mesma região. Contudo, a paridade entre o preço do etanol e da gasolina não se manteve favorável em todo o período, em 2010 já se tornava mais vantajoso o consumo do combustível fóssil.

³⁵ Produção de etanol anidro e hidratado por estado para a safra de 2008/2009 dados da Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB. Todos os dados citados neste capítulo referem-se a essa tabela (Ver Anexo 7.2.2).

³⁶ O CEPEA-USP recomenda que o motorista não abasteça seu veículo a etanol hidratado caso o seu preço ultrapasse cerca de 70% do preço do litro da gasolina C.

A região Sudeste é a maior produtora nacional de etanol, somente o estado de São Paulo foi responsável por cerca de 60% da produção brasileira de etanol hidratado para a safra 2008/2009. Além disso, essa região é a maior consumidora desse produto, sua situação favorável na paridade de preços em todo o período analisado pode ser explicada não somente pelo tamanho do seu mercado consumidor, mas também pela sua infra-estrutura logística, pela existência de maior concorrência entre as distribuidoras e por margens curtas de venda dos postos distribuidores, dado o grande volume de venda e alta concorrência.

A região Centro-Oeste, assim como a região Sudeste, possui o mercado consumidor muito próximo da produção. Além disso, sua produção é muito maior que o seu consumo, o que o atribui um enorme potencial de exportação. O grande volume de produção na região pode ser visto como mais um fator que favorece a paridade entre o preço do etanol hidratado e o da gasolina.

Por fim, a região Sul possui o terceiro estado com maior produção nacional de etanol hidratado na safra de 2008/2009, o Paraná, responsável por 8,9% do total produzido no Brasil. No entanto, segundo Milanez et.al (2010), sua oferta não é suficiente para atender toda a demanda de sua região. Este ponto, no entanto, não tornou essa região menos atraente para o consumo de etanol durante o período analisado se considerada a paridade média anual da região.

4.5 A oportunidade associada ao carro *Flex*

Se ajustado um fator de 1/0,70 ao preço deflacionado do etanol hidratado e comparada a evolução de seu preço ao da gasolina também deflacionada, ambos com base em julho de 2001, é possível verificar em quais os períodos (e não somente anos como feito anteriormente) deixa de ser vantajoso o consumo do biocombustível. Este valor de ajuste, que é multiplicado ao valor original da série deflacionada do etanol, foi escolhido por ter sido considerado o limite para o exercício da flexibilidade associada ao carro *Flex*. Nas Figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 podem ser observadas as comparações por região geográfica para o período de análise.

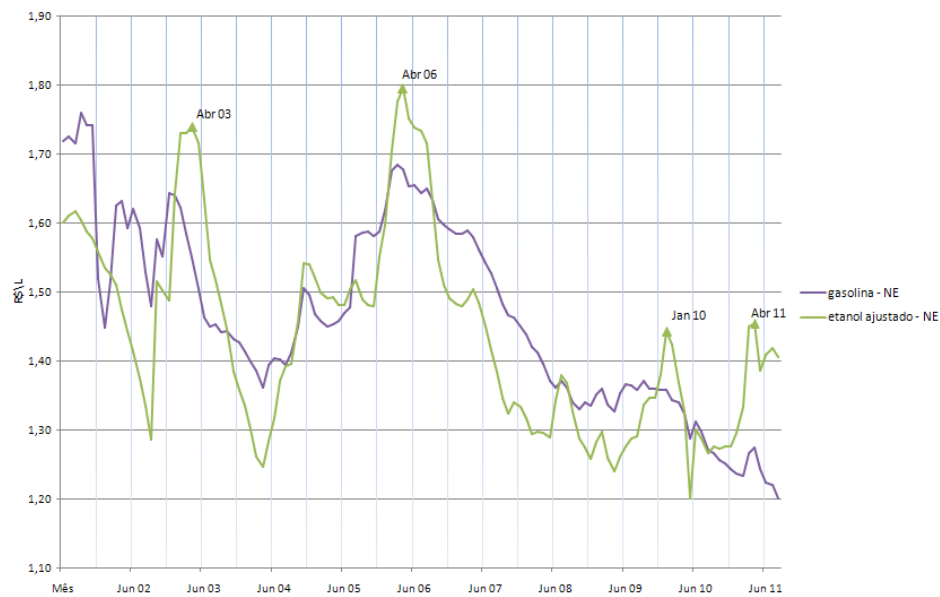


Figura 4.3: Evolução dos preços do etanol ajustado e gasolina deflacionados na região Nordeste.

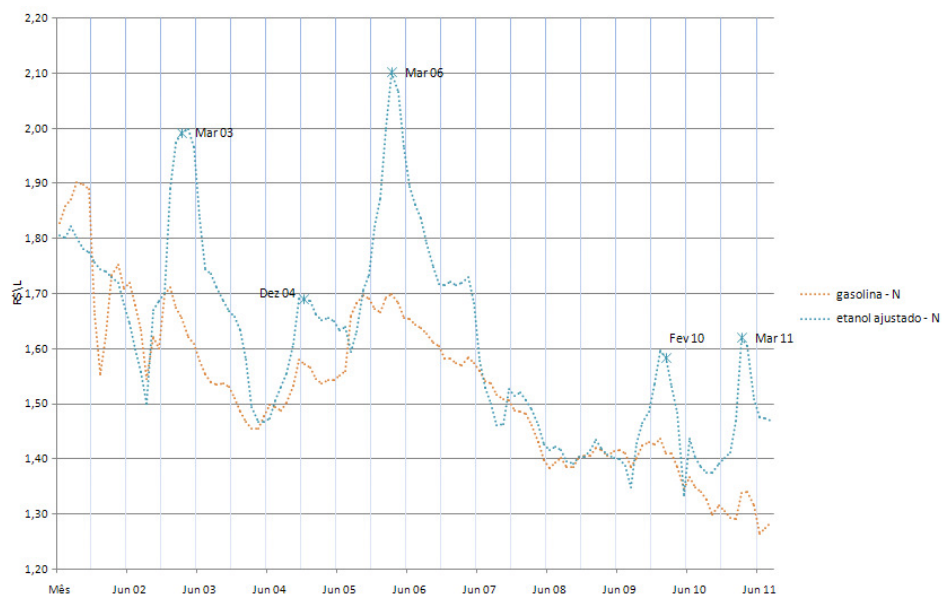


Figura 4.4: Evolução dos do etanol ajustado e gasolina deflacionados na região Norte.

Alguns estados pertencentes à região Norte e Nordeste podem ser alocados em outra subdivisão de produção segundo a UNICA, a região Norte-Nordeste³⁷. Nesta subdivisão a safra dura 7 meses, de setembro do ano corrente a março do ano seguinte, e neste período ocorre a produção de etanol a partir da cana que deve atender a demanda que ocorre durante o ano todo. Nas Figuras 4.3 e 4.4 é possível verificar períodos em que o consumo de gasolina é mais vantajoso que do álcool, e isso pode ser explicado exatamente pela chegada da entressafra da cana-de-açúcar (note que seus ápices ocorrem com maior frequência nos meses de março e abril, fim da safra e início da entressafra).

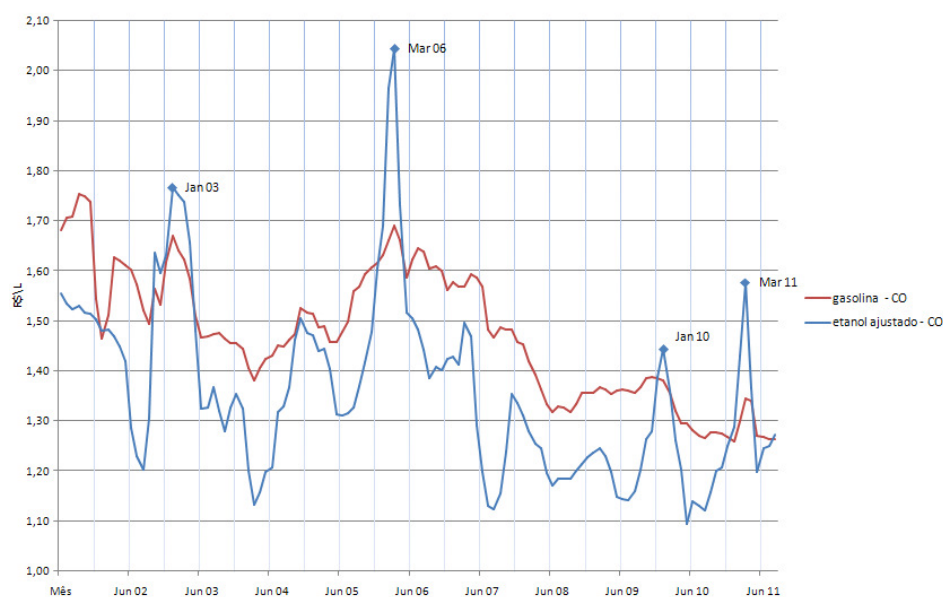


Figura 4.5: Evolução dos preços do etanol ajustado e gasolina deflacionados na região Centro-Oeste.

³⁷ Estados que compõem a região de produção Norte-Nordeste: Acre, Pará, Alagoas, Ceará, Pernambuco e Sergipe. Os estados pertencentes às regiões Norte e Nordeste que não estão incluídos nessa lista não são produtores de cana-de-açúcar.

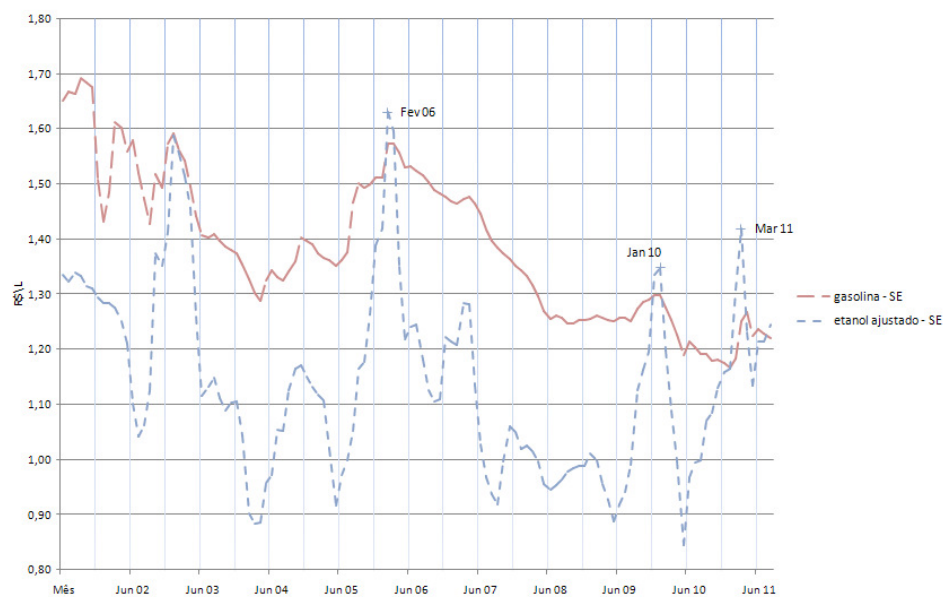


Figura 4.6: Evolução dos preços do etanol ajustado e gasolina deflacionados na região Sudeste.

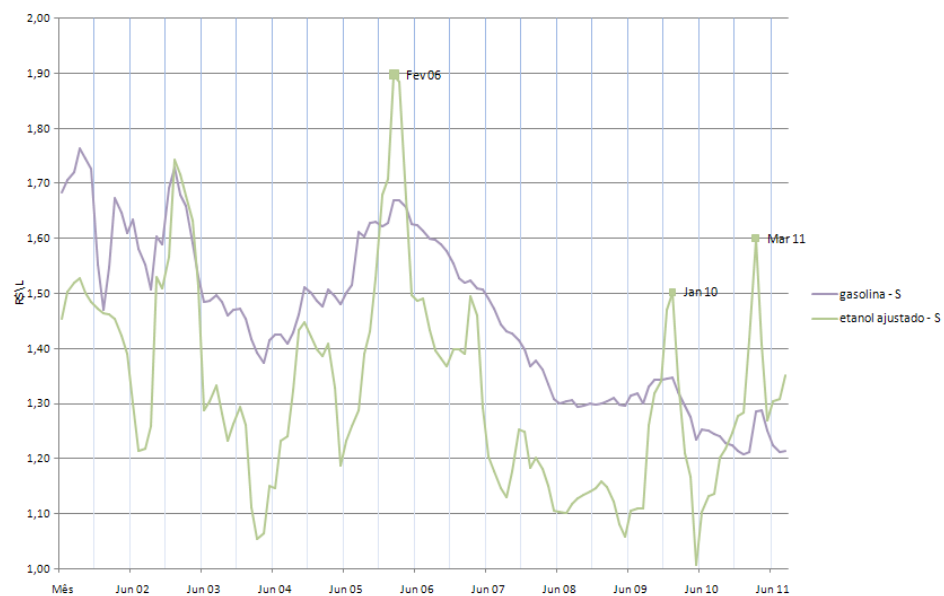


Figura 4.7: Evolução dos preços do etanol ajustado e gasolina deflacionados na região Sul.

O mesmo tipo de análise pode ser realizado para estados que compõem as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Outra subdivisão pode ser realizada de acordo com a ÚNICA, a região Centro-Sul³⁸. Para essa região a safra dura em média 8 meses, de abril a novembro. Os meses de entressafra, ou seja, dezembro, janeiro, fevereiro e março são utilizados para procedimentos de manutenção. Observando as Figuras 4.5, 4.6 e 4.7, pode ser visto que nesse período deixa de ser vantajoso o uso do combustível renovável.

Nas figuras de todas as regiões é possível verificar a oportunidade associada ao carro *Flex*, em que o proprietário terá a escolha de trocar de combustível, optando sempre para o mais econômico no momento do abastecimento. Segundo Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2008), é essa volatilidade nesse mercado que torna possível a valoração financeira através da metodologia de opções reais.

4.6 Determinação do Processo Estocástico que melhor se ajusta aos preços

A Teoria de Opções Reais permite valorar a flexibilidade de escolha de combustíveis associada ao carro *Flex*, mas para isso é necessária a determinação do processo estocástico adequado para os preços do etanol hidratado e gasolina C que abastecem esse tipo de veículo. Neste estudo, a escolha do processo estocástico será realizada através de dois testes: o Teste da raiz unitária de Dickey-Fuller e o Teste da razão da variância utilizado por Pindyck (1999). O resumo dos passos a serem realizados podem ser observados na Figura 4.8 que segue:

³⁸ Estados que compõem a região de produção Centro-Sul: Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, São Paulo e Espírito Santo. Os estados pertencentes às regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste que não estão incluídos nessa lista não são produtores de cana-de-açúcar.

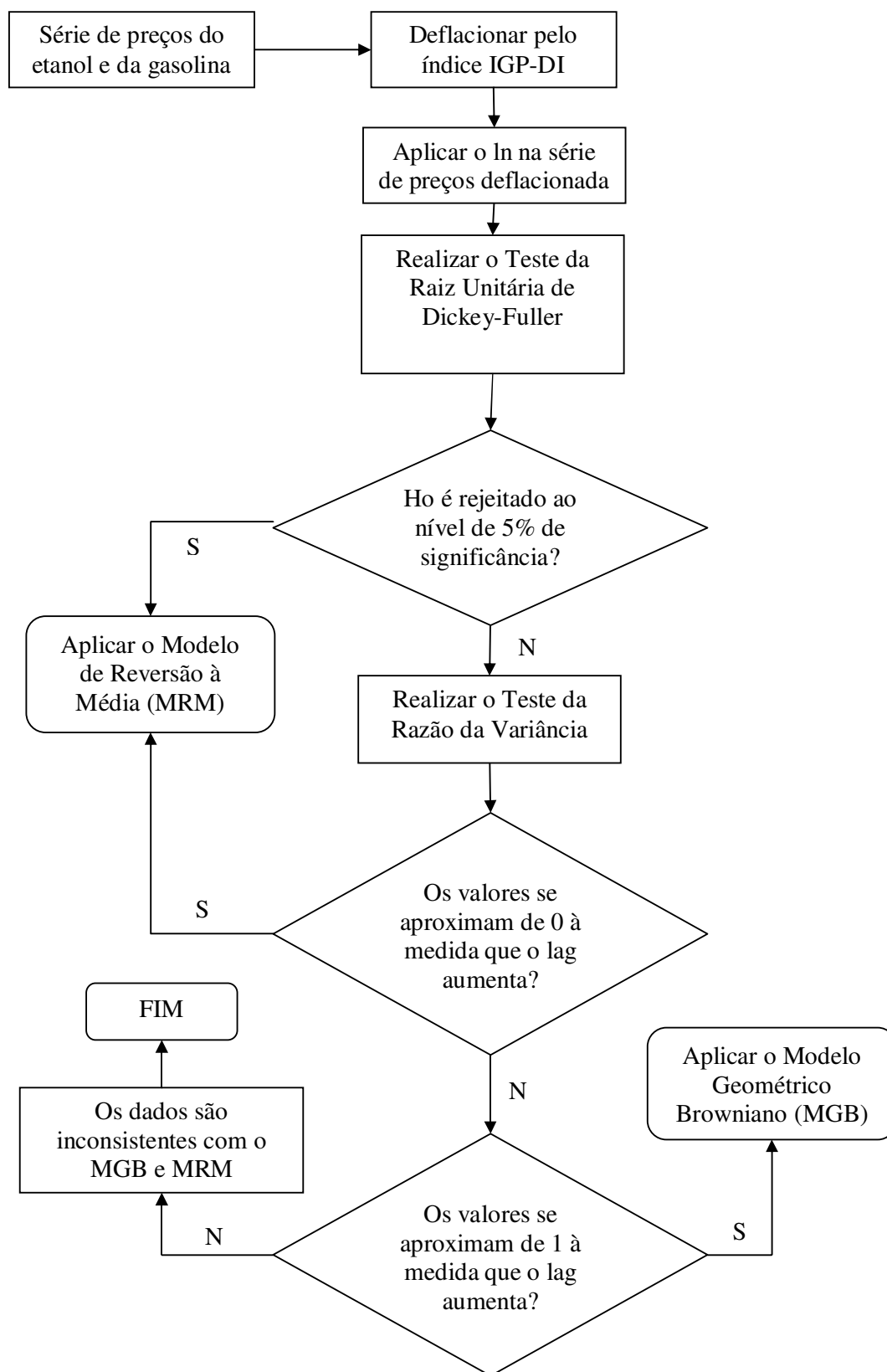


Figura 4.8: Resumo da escolha do processo estocástico.

O Teste da raiz unitária de Dickey-Fuller é muito popular na verificação de estacionariedade ou não de um processo estocástico, geralmente é utilizado para verificar a adequabilidade do Movimento Geométrico Browniano (MGB) a séries de preços. Neste estudo, ele é realizado através da análise da estatística τ obtida na regressão linear simples do logaritmo natural da série de preços do etanol (e_t) e gasolina (g_t) que seguem o modelo 3.29 (Ver seção 3.3):

$$\ln[e_t] - \ln[e_{t-1}] = a_{\ln[e]} + (b_{\ln[e]} - 1)\ln[e_t] + \varepsilon_t \quad (4.1)$$

$$\ln[g_t] - \ln[g_{t-1}] = a_{\ln[g]} + (b_{\ln[g]} - 1)\ln[g_t] + \varepsilon_t \quad (4.2)$$

Este modelo, com uma constante e sem tendência, foi escolhido porque tanto a série de preços deflacionada quanto a série do ln dos preços deflacionada para o etanol e para a gasolina não apresentam tendência aparente, apesar do salto no ano de 2005.

Difícilmente a hipótese nula é rejeitada, ou seja, estatística $\tau >$ valor crítico $\Rightarrow H_0$ não é rejeitado, o que indicaria que o MGB poderia ser aplicado. No entanto, quando é encontrado $0 < b < 1$ há evidências de MRM (Bastian-Pinto, 2009 e Dias, 2011).

Os resultados para o Teste da raiz unitária de Dickey-Fuller, com uma constante e sem tendência, foram obtidos através da estatística τ gerada pela regressão linear simples do logaritmo natural da série de preços deflacionada usando o *software* livre Gretl. Os resultados com os parâmetros da regressão e a estatística τ por região geográfica são os que seguem:

Parâmetro	NE		N		CO		SE		S	
	ln etanol	ln gasolina	ln etanol	ln gasolina	ln etanol	ln gasolina	ln etanol	ln gasolina	ln etanol	ln gasolina
a	-0.001	0.006	0.004	0.010	-0.008	0.010	-0.025	0.009	-0.009	0.005
b-1	-0.061	-0.024	-0.045	-0.030	-0.106	-0.031	-0.105	-0.034	-0.096	-0.021
b	0.939	0.976	0.955	0.970	0.894	0.969	0.895	0.966	0.904	0.979
$\sigma\epsilon$	0.032	0.022	0.031	0.022	0.055	0.022	0.063	0.022	0.057	0.023
τ para (b-1)	-2.032	-1.098	-1.707	-1.414	-2.648	-1.342	-2.635	-1.645	-2.494	-1.051

Tabela 4.4: Resultados da regressão linear para o ln dos preços dos combustíveis por região geográfica.

Ao verificar os resultados expostos na Tabela 4.4, o valor de $b-1$ para todas as regiões é menor que 1, o que gera um b positivo para todas as variáveis estudadas. A única pergunta é se esses valores são estatisticamente menores que 1 para que seja comprovado que cada série é estacionária (segue o MRM). Se comparados os resultados com a Tabela 3.2, da seção 3.3, pode-se observar que a hipótese nula, ou seja, de que existe a raiz unitária, para o nível de 5% de significância, não é rejeitada para ambos os combustíveis em todas as regiões geográficas. Já que o valor crítico de -2,88 (retornado pela Tabela 3.2) é menor que todas as estatísticas τ calculadas, isto é, $\tau > -2,88 \Rightarrow H_0$ não é rejeitado, o que indicaria a adequabilidade do MGB.

No entanto, a falha na rejeição da raiz unitária não implica aceitação dela, isso simplesmente deixa a questão em aberto. De acordo com Bastian-Pinto (2009) e Dias (2011) sendo $0 < b < 1$, a falha na rejeição dessa hipótese não impede a existência do MRM na variável de interesse. Além disso, conforme já discutido nos nas seções 1.3 e 3.2.7, os preços de *commodities* não financeiras na TOR geralmente são modelados pelo Movimento de Reversão à Média.

Desta forma, uma alternativa para a investigação do modelo a ser seguido também é utilizada, o Teste da razão da variância, R_K , para cada tipo de combustível, e por região geográfica, a fim de verificar se o choque entre os preços de um mesmo combustível é temporário ou permanente. Este teste também foi aplicado em Pindyck (1999) e Bastian-Pinto (2009), os autores argumentam que ele é mais informativo que o da raiz unitária.

Os resultados para a variação dos *lags* (períodos) de 1 a 60, que também foram aplicados no logaritmo neperiano da série de preços deflacionados, podem ser observados nas Figuras 4.9 e 4.10 que seguem:

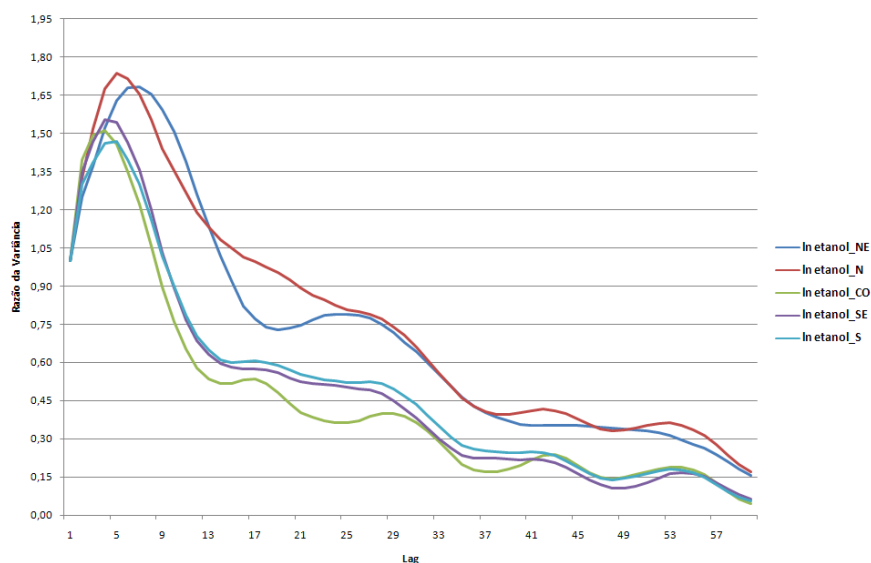


Figura 4.9: Teste da razão da variância para o ln do preço do etanol por região geográfica.

Pode ser observado na Figura 4.9 que a razão da variância para o ln do preço do etanol hidratado deflacionado decai para 0,16 nas regiões Nordeste e Norte, e para abaixo de 0,06 no Centro-Oeste, Sudeste e Sul com o aumento do *lag*.

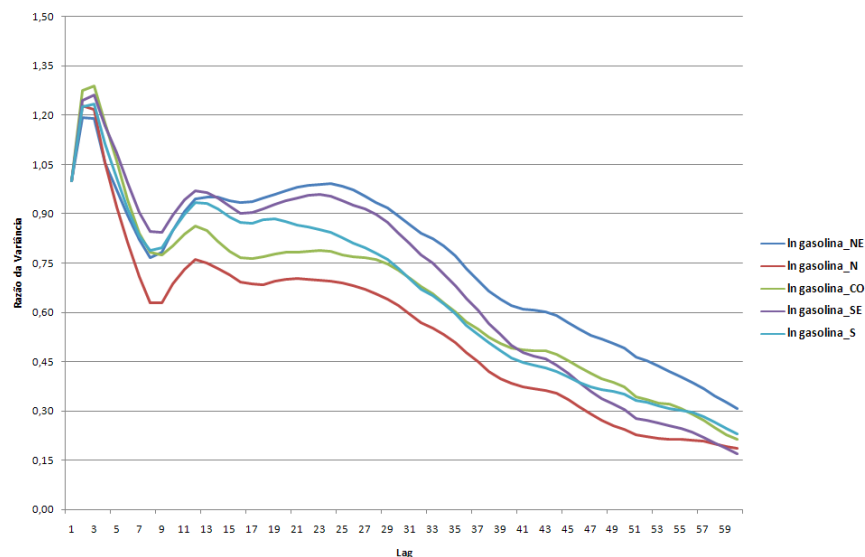


Figura 4.10: Teste da razão da variância para o ln do preço da gasolina por região geográfica.

Já a razão da variância para o ln do preço da gasolina C deflacionada, Figura 4.10, apresenta uma queda mais lenta, ficando abaixo de 0,23 para as regiões Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, e em 0,31 para a região Nordeste quando o *lag* atinge 60.

Para ambos os combustíveis, a razão da variância apresenta uma queda com o aumento o *lag*, o que é consistente com o modelo no qual o preço é revertido à média (MRM), como sugerido na Figura 4.2.

Pode-se então supor, com os resultados dos dois testes, que os preços tanto do etanol quanto da gasolina para as regiões Nordeste, Norte Centro-Oeste, Sudeste e Sul seguem um processo estacionário (MRM), pois $0 < b < 1$ e suas razões decaem com o aumento do *lag*.

4.7 Aplicação do Modelo de Reversão à Média

Determinado o processo estocástico que melhor se ajusta à série de preços deflacionada, o valor da opção de um carro *Flex* pode ser obtido através da Simulação de Monte Carlo. Mas para isso é necessário modelar, discretizar e simular os preços de acordo com o MRM. O resumo dos passos a serem realizados são os que seguem:

1. Aplicar a regressão linear simples sobre o $\ln$ da série de preços deflacionada e obter a , b e σ_ϵ ;
2. Estimar os parâmetros do MRM;
3. Discretizar o modelo através da equação discretizada do MRM (3.20);
4. Simular os preços futuros para os t períodos desejados;
5. Calcular o Fluxo de Caixa sem e com opção de troca de combustível para cada t ;
6. Calcular o Valor Presente dos custos, sem e com opção de troca de combustível;
7. Calcular o Valor da Opção de troca de combustível.

Os valores do passo 1 já foram obtidos na seção anterior (4.6), os passos 2,3,4 poderão ser vistos nessa seção 4.7 e, por fim, os passos 5,6 e 7, poderão ser vistos na seção 4.8.

A equação diferencial do MRM (3.14) com a média ajustada a um processo neutro ao risco³⁹ será utilizada para modelar os preços da gasolina C e do etanol hidratado:

$$dG_t = \eta_G \left(\left[\bar{G} - \frac{\mu - r}{\eta_G} \right] - G_t \right) dt + \sigma_G dz_G \quad (4.3)$$

$$dE_t = \eta_E \left(\left[\bar{E} - \frac{\mu - r}{\eta_E} \right] - E_t \right) dt + \sigma_E dz_E \quad (4.4)$$

Onde:

G_t, E_t = $\ln$ do preço da gasolina e do etanol respectivamente, $G_t = \ln[g_t]$ e $E_t = \ln[e_t]$;

η_G, η_E = velocidade de reversão da média da gasolina e do etanol respectivamente;

$\bar{G}, \bar{E}$ = $\ln$ da média de longo prazo da gasolina e do etanol respectivamente;

³⁹ No Anexo 7.1.4 é demonstrado o ajustamento da média de longo prazo para um processo neutro ao risco.

σ_G, σ_E = volatilidade da gasolina e do etanol respectivamente;

dz_G, dz_E = incremento de Winer da gasolina e do etanol respectivamente, em que $dz = \varepsilon\sqrt{dt}$, com $\varepsilon \sim N(0,1)$. E $dz_G \cdot dz_E = \rho_{GE} dt$, em que ρ_{GE} é a correlação entre as duas séries de preços;

$$\frac{\mu-r}{\eta_G}, \frac{\mu-r}{\eta_E} = \text{prêmio de risco normalizado, onde } \mu - r = \pi.$$

A estimação de seus parâmetros é realizada com base na informação do Quadro 3.1 da seção 3.2.7(B):

Parâmetro estimado	Fórmula
Velocidade de reversão	$\eta = -\ln(b)/\Delta t$
Volatilidade	$\sigma = \sigma_\varepsilon \sqrt{\frac{2 \ln(b)}{(b^2 - 1)\Delta t}}$
Média de longo prazo	$\bar{x} = \exp\left(-\frac{a}{(b-1)}\right)$

Quadro 4.1: Quadro resumo para a estimação de parâmetros do MRM.

Substituindo os valores de a , b e σ_ε encontrados da Tabela 4.4 e considerando $\Delta t = 1$ (série histórica é mensal), é possível obter os parâmetros mensais estimados para séries deflacionadas, conforme segue na Tabela 4.5:

Parâmetro estimado	NE		N		CO		SE		S	
	etanol	gasolina	etanol	gasolina	etanol	gasolina	etanol	gasolina	etanol	gasolina
Velocidade de reversão	0.063	0.024	0.046	0.031	0.112	0.032	0.111	0.035	0.101	0.021
Volatilidade	0.033	0.023	0.032	0.022	0.058	0.023	0.067	0.022	0.060	0.023
Média de longo prazo	0.986	1.293	1.083	1.384	0.930	1.362	0.786	1.285	0.915	1.277
ρ_{eg}	0.450		0.392		0.496		0.479		0.492	

Tabela 4.5: Parâmetros mensais para o MRM modelados para o preço do etanol e gasolina por região geográfica.

Os parâmetros mostram que o etanol em todas as regiões reverte mais rapidamente para sua média de longo prazo do que a gasolina, e que a volatilidade da gasolina é menor do que a do etanol. Ambos os combustíveis apresentam baixa volatilidade, se concentrando entre 3% e 7% para o etanol e em 2% para a gasolina. Essa baixa volatilidade pode vir a diminuir o preço da opção, pois conforme apresentado por Kulatilaka (1993), quando menor a volatilidade no preço do ativo menor o valor da flexibilidade. A correlação, que foi calculada através do retorno do ln dos preços, possui valores entre 40% e 50%. Segundo Dias (2011), Bastian-Pinto (2009), Camargo Jr et al.(2011), entre outros autores, a alta correlação entre o preço de ativos também é um fator que diminui o valor da flexibilidade. Já para a média de longo prazo, destacam-se as regiões Norte e Sudeste, que apresentam valor de equilíbrio do etanol de R\$ 1,083 por litro e R\$ 0,786 por litro, respectivamente. Essa diferença provavelmente afeta o valor final da opção, quando comparadas as regiões. Na seção 4.10. será possível observar a influência da média de longo prazo e da volatilidade no valor da opção, mas antes deve-se obter o seu valor usando os dados apresentados na Tabela 4.5.

Informado os valores estimados, é possível realizar a simulação dos preços dos combustíveis por região geográfica para o período de 60 meses (tempo de vida do automóvel *Flex* neste estudo), para isso é necessário aplicar a equação (3.20) de discretização do MRM para um ambiente neutro ao risco, que foi apresentada na seção 3.2.7(A):

$$E_t = E_{t-1}e^{-\eta_E\Delta t} + \left[\bar{E} - \frac{(\mu - r)}{\eta_E} \right] (1 - e^{-\eta_E\Delta t}) + \sigma_E \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta_E\Delta t}}{2\eta_E}} N(0,1) \quad (4.5)$$

$$G_t = G_{t-1}e^{-\eta_G\Delta t} + \left[\bar{G} - \frac{(\mu - r)}{\eta_G} \right] (1 - e^{-\eta_G\Delta t}) + \sigma_G \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta_G\Delta t}}{2\eta_G}} N(0,1) \quad (4.6)$$

Lembrando que $G_t = \ln[g_t]$ e $E_t = \ln[e_t]$, pois g_t e e_t possuem uma distribuição lognormal e que $\pi = 0,49\%$ a.m.. Desta forma, por exemplo, a equação de discretização em t para o etanol da região Nordeste (NE) será dada por:

$$E_t = \ln(e_{t-1}) \times e^{-0,063 \times t} + \left[\ln(0,986) - \frac{0,0049}{0,063} \right] \times (1 - e^{-0,063 \times t}) + 0,033 \times \sqrt{\frac{1 - e^{-2 \times 0,063 \times t}}{2 \times 0,063}} N(0,1) \quad (4.7)$$

Para obter os valores de g_t e e_t basta aplicar as seguintes equações (também apresentadas na seção 3.2.7):

$$e_t = \exp\{E_t - 0,5[(1 - e^{-2\eta_E t})\sigma_E^2 / 2\eta_E]\} \quad (4.8)$$

$$g_t = \exp\{G_t - 0,5[(1 - e^{-2\eta_G t})\sigma_G^2 / 2\eta_G]\} \quad (4.9)$$

Novamente, o exemplo para o etanol no tempo t (que varia entre 1 e 60) da região Nordeste:

$$e_t = \exp\{E_t - 0,5 \times [(1 - e^{-2 \times 0,063 \times t}) \times 0,033^2 / (2 \times 0,063)]\} \quad (4.10)$$

Para se obter o valor de e_t ou g_t de forma direta, aplica-se a equação (3.21) da seção 3.2.7.

São considerados como *inputs* do modelo de simulação a parte estocástica das equações (4.5) e (4.6) discretizadas, ou seja, $N(0,1)$, pois através dela a aleatoriedade é introduzida pela SMC. No entanto, como as variáveis aleatórias (preços dos combustíveis) são dependentes, deve-se criar um novo fator estocástico, capaz de introduzir essa dependência no modelo. Para esse fim é utilizada a decomposição de Cholesky, através da qual um fator estocástico é gerado e associado a uma das variáveis (etanol ou gasolina), (Dias, 2011):

$$\varepsilon_y = \rho \varepsilon_x + \varepsilon_w \sqrt{1 - \rho^2} \quad (4.11)$$

Onde ε_x e ε_w são duas normais padrões independentes.

Neste estudo, esse novo fator estocástico (4.11) foi associado à variável E_t , mantendo-se $N(0,1)$ na geração dos valores simulados para G_t . Ou seja, (4.5) foi transformada em:

$$E_t = E_{t-1}e^{-\eta_E \Delta t} + \left[\bar{E} - \frac{(\mu - r)}{\eta_E} \right] (1 - e^{-\eta_E \Delta t}) + \sigma_E \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta_E \Delta t}}{2\eta_E}} \varepsilon_y \quad (4.12)$$

A Simulação de Monte Carlo sobre os preços dos combustíveis discretizados, (4.6) e (4.12), foi realizada por meio do *software* @Risk com 10.000 iterações.

Pode ser observado, da Figura 4.11 a 4.15, que o conjunto da média dos preços simulados tem um decaimento exponencial com o passar do tempo. O que pode ser explicado pela tendência de reversão dos preços para sua média de longo prazo (nível de equilíbrio do mercado) decrescido do prêmio de risco normalizado, já que trata-se de um modelo neutro ao risco.

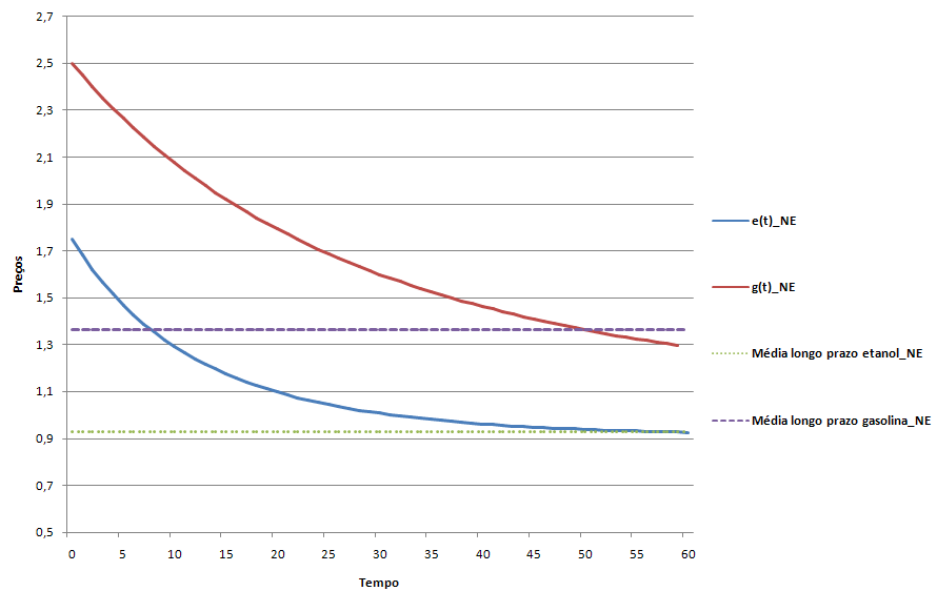


Figura 4.11: Comportamento da média dos preços dos combustíveis simulados para a região Nordeste.

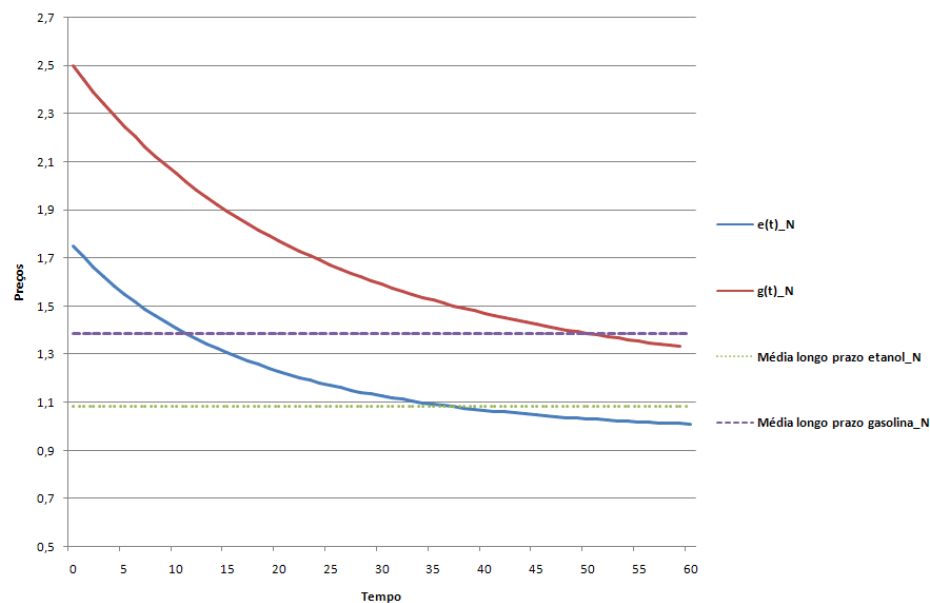


Figura 4.12: Comportamento da média dos preços dos combustíveis simulados para a região Norte.

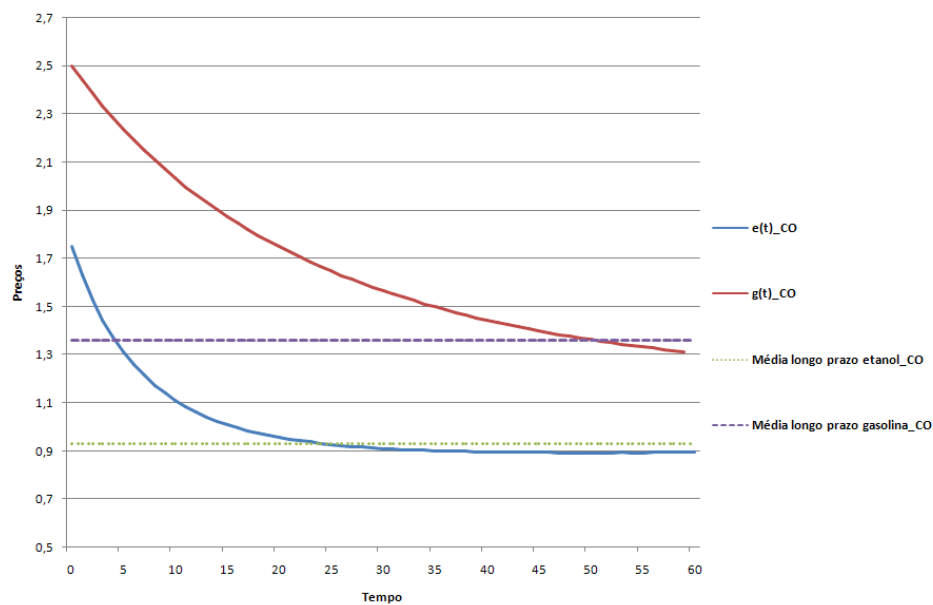


Figura 4.13: Comportamento da média dos preços dos combustíveis simulados para a região Centro-Oeste.

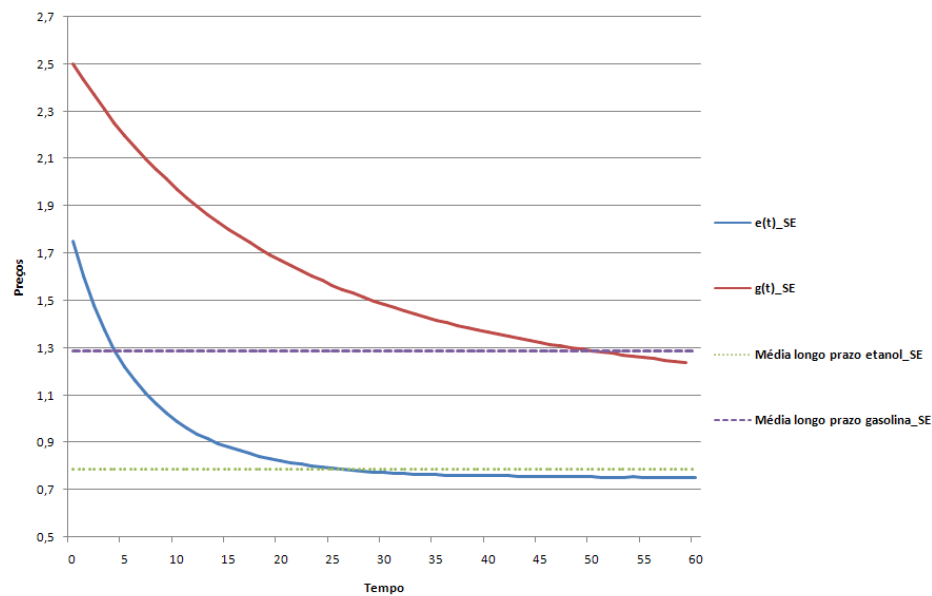


Figura 4.14: Comportamento da média dos preços dos combustíveis simulados para a região Sudeste.

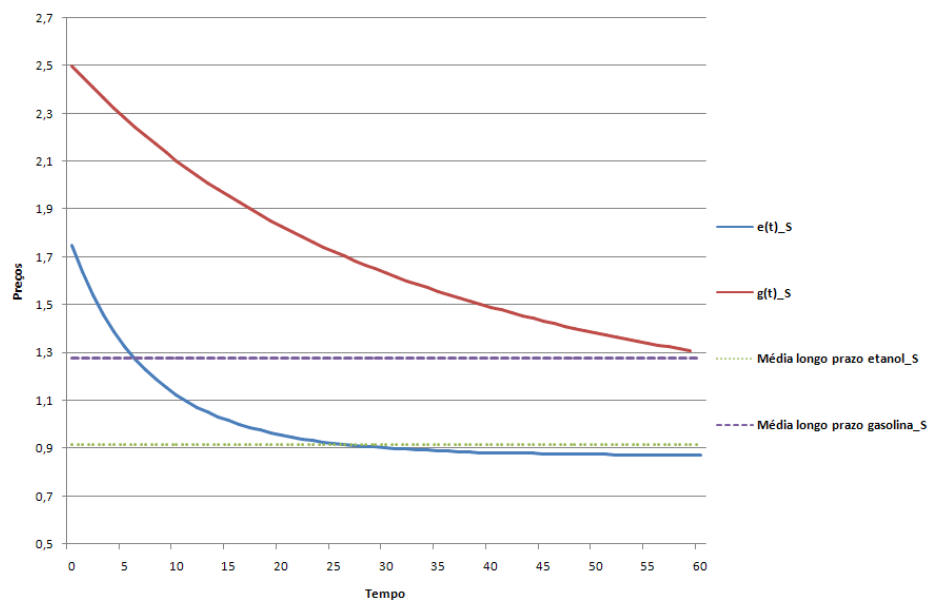


Figura 4.15: Comportamento da média dos preços dos combustíveis simulados para a região Sul.

Em todas as figuras um ou ambos combustíveis reverterem para um nível abaixo da sua média de longo prazo, essa diferença é o prêmio de risco normalizado.

4.8 Cálculo da opção de troca de insumo para o carro *Flex*

Estimados os preços futuros dos combustíveis, é possível obter o Fluxo de Caixa do gasto do proprietário de um automóvel movido exclusivamente a gasolina ou *Flex* para os dois modelos de automóveis, VW Gol e o Fiat Uno (dados sobre as características dos veículos podem ser vistos na Tabela 4.2).

O Fluxo de caixa calculado será mensal (assim como a série de preços) e será assumido que no fluxo de caixa inicial ($t=0$) de 60 meses o consumidor será indiferente ao tipo de combustível consumido. Para isso, deverá ser mantida a relação entre os preços dos combustíveis de 70%. Seguindo o trabalho de Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2008), e assumindo-se o valor inicial de R\$ 2,50 para a gasolina, o valor do etanol será de R\$ 1,75 (relação entre os preços dos combustíveis $\times 2,50$). Desta forma o consumidor possuirá o mesmo rendimento com qualquer um dos combustíveis e se manterá indiferente entre o consumo de etanol e gasolina em $t=0$. Os demais Fluxos de Caixa (de $t=1$ a $t=60$) para os diferentes tipos automóveis e combustíveis, onde e_t é o preço do etanol e g_t o preço da gasolina, serão determinados como segue:

- VW Gol

Fluxo de Caixa gasolina:

$$FCGg_t = g_t \times 142,86(\text{qtd mensal de gasolina consumida}) \quad (4.13)$$

Fluxo de Caixa etanol:

$$FCGe_t = e_t \times 202,70(\text{qtd mensal de etanol consumido}) \quad (4.14)$$

- Fiat Uno

Fluxo de Caixa gasolina:

$$FCFg_t = g_t \times 118,11(\text{qtd mensalde gasolina consumida}) \quad (4.15)$$

Fluxo de Caixa etanol:

$$FCFe_t = e_t \times 168,54(\text{qtd mensal de etanol consumido}) \quad (4.16)$$

A opção de escolha do combustível mais econômico estará associada aos gastos mensais dos dois tipos de combustíveis (Fluxo de Caixa da gasolina e Fluxo de Caixa do etanol). Deverá ser escolhido o menor Fluxo de Caixa, pois resultará no menor gasto para o proprietário em cada mês (t) do tempo de vida útil do ativo, para cada tipo de automóvel:

- VW Gol

$$FCFinaldoGol_t = \text{Min}(FCGg_t; FCGe_t) \quad (4.17)$$

- Fiat Uno

$$FCFinaldoUno_t = \text{Min}(FCFg_t; FCFe_t) \quad (4.18)$$

Por fim, para gerar o Valor Presente dos fluxos de caixa que representam os gastos totais com o carro *Flex*, será usada a taxa livre de risco ($r=0,49\%$ a.m.) como fator de desconto.

- VW Gol

$$VP \text{ do gasto total do Gol} = \sum_{i=1}^{60} \frac{\text{Min}(FCGg_t; FCGe_t)}{(1+r)^i} \quad (4.19)$$

- Fiat Uno

$$VP \text{ do gasto total do Uno} = \sum_{i=1}^{60} \frac{\text{Min}(FCFg_t; FCFe_t)}{(1+r)^i} \quad (4.20)$$

O valor da opção de flexibilidade será dado pela diferença entre o Valor Presente dos custos automóvel movido somente a gasolina e o Valor Presente dos custos automóvel *Flex*.

Os resultados do Valor Presente dos custos por tipo de automóvel para os preços simulados de cada combustível por região geográfica, bem como o valor da opção de flexibilidade, são os que seguem:

Resultados (RS)	VW Gol				
	NE	N	CO	SE	S
VP somente a gasolina	12.661,24	12.639,35	12.495,69	11.963,85	12.852,19
VP Flex	11.471,84	12.191,28	10.475,32	9.182,46	10.418,15
Valor da opção	1.189,4	448,07	2.020,37	2.781,39	2.434,04
Economia (Flex/Gas -1)	-9,39%	-3,55%	-16,17%	-23,25%	-18,94%

Tabela 4.6: Valor Presente dos custos do VW Gol movido somente a gasolina ou *Flex* por região geográfica.

Resultados (RS)	Fiat Uno				
	NE	N	CO	SE	S
VP somente a gasolina	10.467,72	10.449,62	10.330,85	9.891,16	10.625,59
VP Flex	9.528,24	10.106,98	8.704,73	7.633,36	8.658,31
Valor da opção	939,48	342,64	1.626,12	2.257,80	1.967,28
Economia (Flex/Gas -1)	-8,98%	-3,28%	-15,74%	-22,83%	-18,51%

Tabela 4.7: Valor Presente dos custos do Fiat Uno movido somente a gasolina ou *Flex* por região geográfica.

4.9 Análise dos resultados da Simulação

Considerando o modelo VW Gol com vida útil de 5 anos (Tabela 4.6), a região Sudeste é a mais beneficiada pela opção de flexibilidade. O automóvel nessa região apresenta um Valor Presente dos custos de R\$ 11.963 se consumida somente gasolina e R\$ 9.182, dada a opção de escolher o combustível mais barato entre etanol hidratado e gasolina C, o que representa uma economia de 23,25%

para o proprietário desse veículo. Se considerado o preço de venda do automóvel VW Gol em outubro de 2011, R\$ 26.160, o valor da opção ou economia representa 10,6% do preço.

A região Sul, é a segunda região com o maior valor de opção, R\$ 2.434, representando uma economia de quase 19 % para o proprietário durante o período analisado, isto é, 9,3% do valor de compra do automóvel. Essa economia é muito valiosa, já que nessa região o Valor Presente do custo do carro movido somente a gasolina (R\$ 12.852) é o maior dentre todas as cinco regiões.

Ainda analisando a Tabela 4.6, pode ser observado que para as regiões Centro-Oeste e Nordeste a alternativa de se ter um automóvel com flexibilidade de combustível, representa uma economia de cerca de 16% e 9%, respectivamente, sobre um carro movido somente a gasolina. O valor dessa opção em relação ao preço desse automóvel é de 7,7% para a região Centro-Oeste, e 4,5% para a região Nordeste.

Já na região Norte, o proprietário poupa somente 3,55% para o período de 5 anos de vida útil do ativo, com uma economia de 1,7% em relação ao preço do VW Gol. No entanto, embora este valor seja baixo se comparado às demais regiões, é possível ver que a opção do carro *Flex* adiciona algum valor para o seu proprietário.

Se considerarmos as regiões produtoras de cana-de-açúcar, o Centro-Sul (Centro-Oeste, Sudeste e Sul) e o Norte-Nordeste, pode ser observado que a região com a maior produção do biocombustível, a região Centro-Sul, possui o grupo de regiões com maior valor de opção. O que pode ser talvez explicado pelo preço mais competitivo do etanol hidratado no mercado, devido principalmente à proximidade dos centros produtores, a boa infra-estrutura logística, impostos mais baixos, grande volume de venda e alta concorrência. Fazem parte desse grupo os três maiores produtores de etanol hidratado e anidro, os estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná (safra de 2008/2009).

Cenário similar pode ser visto para o automóvel Fiat Uno (Ver tabela 4.7), em que as regiões que compõem o Centro-Sul, possuem maiores valores de opção do que os que compõem a região Norte-Nordeste. Vale lembrar que o consumidor da região Nordeste prefere o automóvel modelo Fiat Uno ao VW Gol. Uma boa decisão, pois apesar do modelo VW Gol conceder o maior valor de opção, R\$ 250

(R\$ 1.189 - R\$ 939) acima do valor da opção do Fiat Uno, é necessário um maior investimento para que isso ocorra, pois tanto o VP da flexibilidade para o VW Gol quanto o preço de compra deste automóvel são mais altos.

Se considerado o preço de venda do automóvel Fiat Uno em outubro de 2011, R\$ 23.220, o valor da opção ou economia representa 3,6%, 1,3%, 6,2%, 8,6% e 7,5% do valor do carro para as regiões Nordeste, Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, respectivamente.

Como hoje os modelos de automóvel VW Gol e Fiat Uno só estão disponíveis no mercado em versão *Flex*, não é possível verificar se o prêmio pago para obter essa tecnologia é vantajoso. As montadoras de veículos no Brasil estão produzindo cada vez mais a tecnologia *Flex*, não só pela economia gerada para o consumidor, mas também para atender as exigências feitas pelo governo para redução de gases do efeito estufa.

4.10 Análise de Sensibilidade

Como as regiões Norte (N) e Sudeste (SE) apresentam os extremos dos resultados dos valores da opção (menor e maior, respectivamente) e o automóvel VW Gol é o mais comprado pelos consumidores dessas regiões, uma análise de sensibilidade será realizada somente para esses casos. Através dela poderão ser identificados fatores que influenciam os valores das opções.

Analisando as diferenças da Tabela 4.5 pode-se supor que um dos fatores que podem explicar a baixa economia na região Norte é o alto valor da média de longo prazo do etanol, R\$ 1,083 por litro, muito próximo do valor da gasolina, R\$ 1,384 por litro. Por outro lado, na região Sudeste, a média de longo prazo do etanol por litro é de R\$ 0,78, bem mais baixa que o valor de equilíbrio da gasolina, R\$ 1,28 por litro. Para investigar este fato sobre o valor da opção, foi variada a média de longo prazo do etanol da região Norte entre R\$ 0,78 - R\$ 1,53, mantendo-se constante o valor médio da gasolina em seu nível base de R\$ 1,083 por litro. Da mesma forma, foi variada a média de longo prazo do etanol da região Sudeste para a mesma faixa, mantendo constante o valor médio da gasolina (R\$ 1,28 por litro). Os resultados são apresentados na Figura 4.16 a seguir:

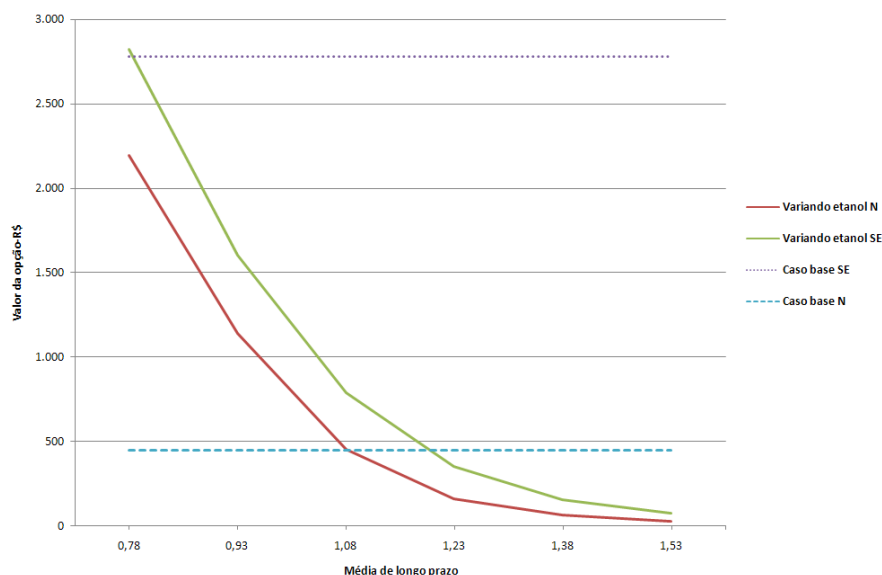


Figura 4.16: Análise de sensibilidade para a média de longo prazo do etanol.

Pela análise da figura, é possível observar que ambas as regiões apresentam uma queda no valor de opção com o aumento da média de longo prazo do etanol. Para a região Sudeste, quando o preço do litro do etanol atinge R\$ 1,23, um valor próximo ao da gasolina, o valor de sua opção se reduz a R\$ 352,01. E quando atingido um valor muito acima do preço do litro da gasolina, R\$ 1,53, o valor da opção cai para praticamente zero, o que é um resultado esperado, já que o consumidor deixará de exercer a opção que o carro *Flex* oferece.

Outro parâmetro que pode influenciar no valor da opção é a volatilidade. Na Figura 4.17 pode ser observado o comportamento do valor da opção para a variação da volatilidade de ambos combustíveis, etanol e gasolina, para as regiões Norte e Sudeste. Primeiramente foi variado o valor da volatilidade do etanol no intervalo de 0,03 a 0,28, mantendo-se constante a volatilidade original da gasolina. E em seguida o mesmo foi feito para a gasolina. O resultado pode ser visto na figura que segue:

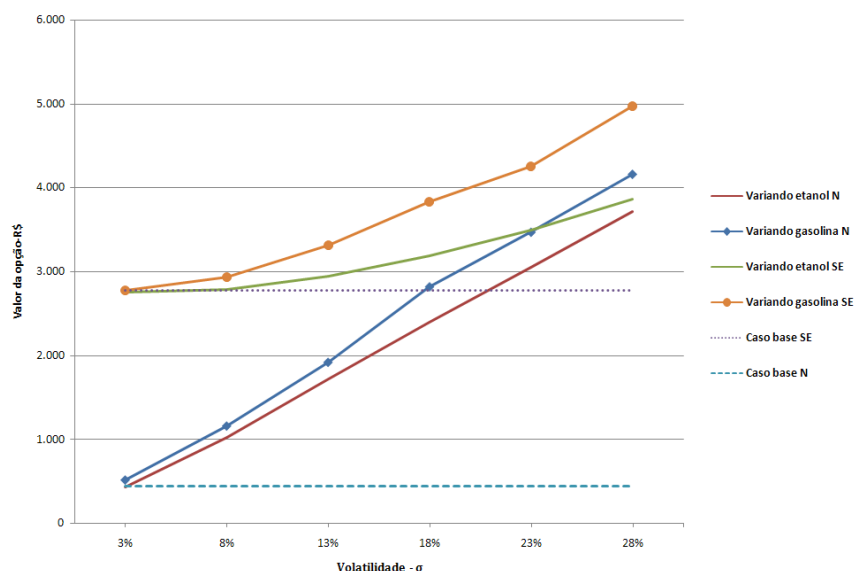


Figura 4.17: Análise de sensibilidade para a volatilidade do etanol e da gasolina.

Como já esperado, o aumento da volatilidade de ambos combustíveis também aumenta o valor da opção das regiões analisadas, assim como também visto em Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2008), Camargo Jr et al.(2011) e outros. Para a região Norte, quando a volatilidade mensal do etanol atinge 28% o valor de sua opção aumenta de R\$ 563,65 (caso base) para R\$ 3.713. Já para a região Sudeste, o valor da opção sobe de R\$ 3.344 (caso base) para R\$ 3.868. O crescimento no valor da opção também pode ser observado com o aumento da volatilidade mensal da gasolina.

Para trabalhos futuros é sugerida a realização da análise de sensibilidade da variação do valor da opção em relação ao percentual de álcool anidro que compõe a gasolina C. Neste trabalho esta análise não foi efetuada por falta de dados da série histórica dos preços do etanol anidro.