

7 Análise dos Dados e Cálculos

7.1 Validade dos Processos Estocásticos

7.1.1 Teste de Dickey-Fuller

De início, para verificar a rejeição de hipótese de que as séries seguem um MGB foi realizado um teste de raiz unitária de Dickey-Fuller Aumentado(ADF). Estes testes foram realizados usando o *software E-Views*.

Neste teste, a presença de uma ou mais raízes unitárias indica não-estacionaridade no comportamento de uma série histórica, ou seja, os valores tendem a aumentar com o transcorrer do tempo, assumindo diferentes padrões. Sendo assim, considerando a seguinte equação estocástica:

$$x_t = \mu + \phi_1 x_{t-1} + \varepsilon_t$$

$H_0 : \phi = 0$, existem raízes unitárias;

$H_0 : \phi < 0$, não existem raízes unitárias.

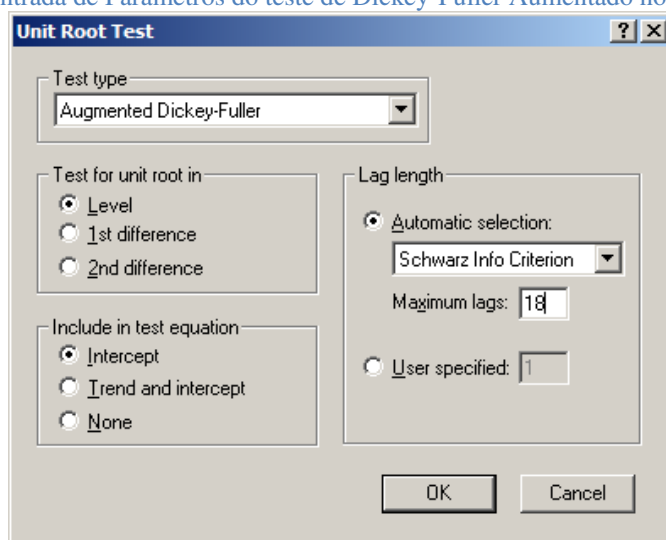
O MGB é rejeitado caso existam raízes unitárias, $\phi = 0$, e não é rejeitado caso contrário. A inclinação negativa é também um indício da existência de um MRM.

O teste padrão de Dickey-Fuller (DF) é válido apenas se a série seguir um processo auto-regressivo de primeira ordem, AR(1). Já se a série é correlacionada com *lags* mais altos, a suposição de perturbações de ruído branco ε_t é violada. Já o teste ADF constrói uma correção paramétrica para correlações de maior ordem, assumindo que x segue um AR(p).

Devido a essas diferenças entre os testes Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e o teste padrão de Dickey-Fuller (DF), escolheu-se o teste aumentado devido à sua maior liberdade de escolha de *lags*, possibilitando dessa forma uma melhor

análise. Como pode ser observado na figura abaixo que apresenta a tela de entrada dos parâmetros utilizados no teste de ADF do *E-Views*, foi escolhida a opção de teste no nível, optou-se por incluído o intercepto e o número de *lags* foi calculado automaticamente através da opção Schwarz Info Criterion, com um *lag* máximo de 18.

Figura 7.1 - Tela de Entrada de Parâmetros do teste de Dickey-Fuller Aumentado no E-views



Fonte: E-Views

Os resultados são mostrados nas tabelas 7.1 e 7.2. Pode-se observar a partir da linha “*Lag Length*” que as séries de etanol resultaram no caso padrão do Dickey-Fuller com *lag* 1, enquanto que as de açúcar possuem *lag* 2, tendo assim, utilizado o ADF. O fato de as séries de açúcar possuírem *lag* 2 significa que elas dependem não só de $t-1$ como também de $t-2$ enquanto que as séries de etanol dependem apenas de $t-1$.

Tabela 7.1 - Teste de Raiz Unitária Dickey-Fuller Aumentado – Séries de Preço Açúcar e Etanol

Null Hypothesis: **ACUCAR_CRISTAL** has a unit root
Exogenous: Constant
Lag Length: 2 (Automatic based on SIC, MAXLAG=18)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1,586856	0,488600
Test critical values:		
1% level	-3,442344	
5% level	-2,866723	
10% level	-2,569591	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(ACUCAR_CRISTAL)
Method: Least Squares
Date: 01/13/11 Time: 17:11
Sample (adjusted): 7/24/2000 10/18/2010
Included observations: 535 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ACUCAR_CRISTAL(-1)	-0,003650	0,002300	-1,586856	0,113100
D(ACUCAR_CRISTAL(-1))	1,136684	0,040140	28,31806	0,000000
D(ACUCAR_CRISTAL(-2))	-0,372826	0,040760	-9,146911	0,000000
C	0,144649	0,081507	1,774690	0,076500
R-squared	0,728174	Mean dependent var	0,096313	
Adjusted R-squared	0,726638	S.D. dependent var	1,210779	
S.E. of regression	0,633044	Akaike info criterion	1,930895	
Sum squared resid	212,7954	Schwarz criterion	1,962912	
Log likelihood	-512,5144	F-statistic	474,1513	
Durbin-Watson stat	2,004604	Prob(F-statistic)	0,000000	

Null Hypothesis: **ETANOL** has a unit root
Exogenous: Constant
Lag Length: 1 (Automatic based on SIC, MAXLAG=18)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3,458187	0,0095
Test critical values:		
1% level	-3,442322	
5% level	-2,866713	
10% level	-2,569586	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(ETANOL)
Method: Least Squares
Date: 01/13/11 Time: 17:15
Sample (adjusted): 7/17/2000 10/18/2010
Included observations: 536 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ETANOL(-1)	-0,019946	0,005768	-3,458187	0,0006
D(ETANOL(-1))	0,588151	0,035169	16,72355	0,0000
C	0,015775	0,004561	3,458957	0,0006
R-squared	0,346752	Mean dependent var	0,000945	
Adjusted R-squared	0,344301	S.D. dependent var	0,028345	
S.E. of regression	0,022952	Akaike info criterion	-4,705224	
Sum squared resid	0,280786	Schwarz criterion	-4,681246	
Log likelihood	1,264,000	F-statistic	141,4615	
Durbin-Watson stat	1,945782	Prob(F-statistic)	0,000000	

Fonte: E-Views

Tabela 7.2 - Teste de Raiz Unitária Dickey-Fuller Aumentado – Séries de Preço Açúcar e Etanol Deflacionados

Null Hypothesis: **ACUCAR_CRISTAL_DEFLACIONADO** has a unit root
Exogenous: Constant
Lag Length: 2 (Automatic based on SIC, MAXLAG=18)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2,587973	0,096100
Test critical values:		
1% level	-3,442344	
5% level	-2,866723	
10% level	-2,569591	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(ACUCAR_CRISTAL_DEFLACION)
Method: Least Squares
Date: 01/13/11 Time: 17:14
Sample (adjusted): 7/24/2000 10/18/2010
Included observations: 535 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ACUCAR_CRISTAL_DEFLACION(-1)	-0,008035	0,003105	-2,587973	0,009900
D(ACUCAR_CRISTAL_DEFLACION(-1))	1,102439	0,039823	27,68346	0,000000
D(ACUCAR_CRISTAL_DEFLACION(-2))	-0,375059	0,040437	-9,275261	0,000000
C	0,159995	0,062077	2,577376	0,010200
R-squared	0,696581	Mean dependent var	0,018123	
Adjusted R-squared	0,694867	S.D. dependent var	0,663299	
S.E. of regression	0,366399	Akaike info criterion	0,837259	
Sum squared resid	71,28567	Schwarz criterion	0,869276	
Log likelihood	-219,9668	F-statistic	406,3526	
Durbin-Watson stat	1,989411	Prob(F-statistic)	0,000000	

Null Hypothesis: **ETANOL_DEFLACIONADO** has a unit root
Exogenous: Constant
Lag Length: 1 (Automatic based on SIC, MAXLAG=18)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3,567723	0,0067
Test critical values:		
1% level	-3,442322	
5% level	-2,866713	
10% level	-2,569586	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(ETANOL_DEFLACIONADO)
Method: Least Squares
Date: 01/13/11 Time: 17:15
Sample (adjusted): 7/17/2000 10/18/2010
Included observations: 536 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ETANOL_DEFLACIONADO(-1)	-0,019054	0,005341	-3,567723	0,0004
D(ETANOL_DEFLACIONADO(-1))	0,574210	0,035314	16,26035	0,0000
C	0,008567	0,002502	3,424047	0,0007
R-squared	0,336827	Mean dependent var	-0,000261	
Adjusted R-squared	0,334338	S.D. dependent var	0,015966	
S.E. of regression	0,013026	Akaike info criterion	-5,839085	
Sum squared resid	0,090444	Schwarz criterion	-5,814107	
Log likelihood	1,567,607	F-statistic	135,3558	
Durbin-Watson stat	1,929512	Prob(F-statistic)	0,000000	

Fonte: E-Views

Para se rejeitar a hipótese nula (H_0), a estatística t do teste ADF deve ser mais negativa, ou seja, deve ser menor que a estatística t dos valores críticos.

Sendo assim, a série original de açúcar cristal não rejeita a hipótese nula em nenhum dos intervalos de confiança. Logo existem raízes unitárias e a série é não-estacionária.

Já no caso da série deflacionada da mesma *commodity*, temos a não-rejeição da hipótese nula nos valores críticos de 1% e 5%, e a rejeição da hipótese nula a partir de 10%.

Para as séries de etanol original a hipótese nula foi rejeitada em todos os três níveis de significância testados, o que significa que não existem raízes unitárias e, portanto, a série é estacionária.

Ao se analisar a série deflacionada do etanol pode-se notar que repetem-se as mesmas afirmativas já feitas anteriormente para a série de preços original desta *commodity*. Sendo assim, a série deflacionada também é uma série estacionária.

De posse desses resultados, é possível observar a adequabilidade das séries de açúcar ao MGB. Sendo possível, inclusive, verificar um comportamento contraditório na série deflacionada de açúcar, visto que a 10% ela tende à estacionaridade e, no entanto, a 1% e 5% ela é considerada não-estacionária, possuindo características híbridas de caminho aleatório (MGB) e autorregressivo (MRM). Já com relação às séries de etanol, observa-se que ambas possuem características de reversão à média.

7.1.2 Análise das Variâncias

Neste teste é verificada a extensão dos choques nos preços. Ou melhor, se estes choques são temporários, ou seja, se eles se dissipam na medida que o preço reverte à média, ou são permanentes. O teste da taxa de variância, utilizado em Pyndick (1999) pode ser mais informativo na investigação de caminho aleatório ou reversão à média do que o estudo feito anteriormente de raiz unitária.

O teste da taxa de variância já havia sido usado anteriormente em Cochrane (1986) e em Campbell e Mankiw (1987), sendo bastante informativo sob o aspecto mencionado anteriormente. Ele é baseado no fato de que se o preço segue um passeio aleatório, isto é, ele é não-estacionário, então a variação das diferenças de k-períodos deve crescer linearmente com o período k.

Esta taxa de variância R_k segue a fórmula abaixo:

$$R_k = \frac{1}{k} \frac{\text{Var}(p_{t+k} - p_t)}{\text{Var}(p_{t+1} - p_t)}$$

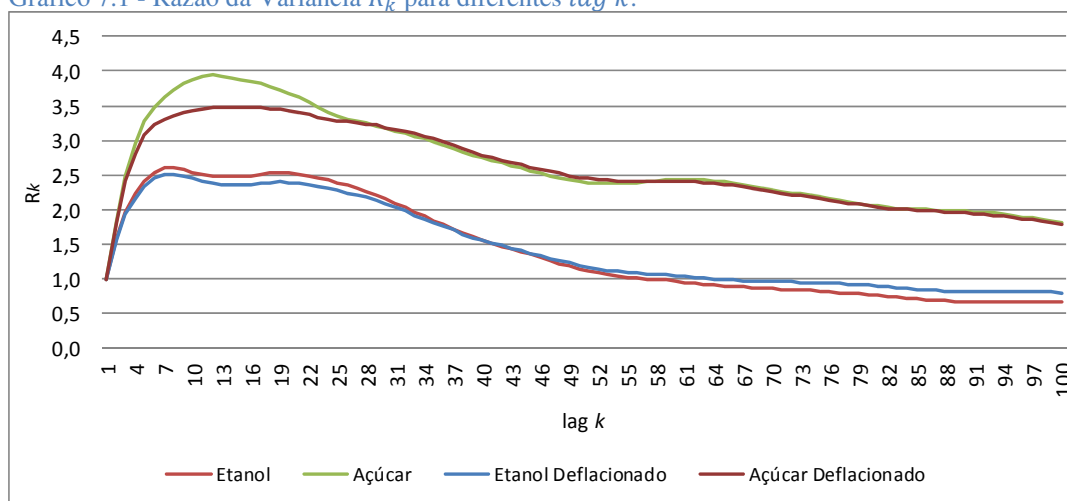
Sendo assim, na medida que k cresce, R_k deve se aproximar de 1. Quando o preço seguir um processo estacionário como o de reversão à média, a variação das diferenças do período k chegará a um teto com o crescimento de k , com isso, R_k cairá à zero com esse aumento de k .

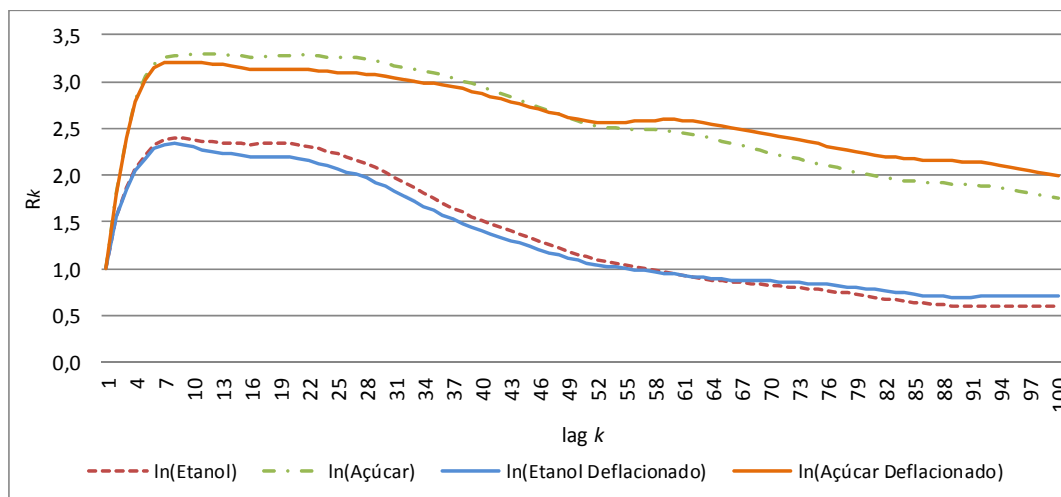
Generalizando, a taxa R_k gera uma medida da extensão da persistência dos choques de preços, ou, em outras palavras, a importância relativa de qualquer componente do preço que siga um passeio aleatório.

Em um processo auto-regressivo, os choques de preço tendem a dissipar-se sob a permanente força de reversão, ao contrário do caso de um MGB onde os choques de preço são permanentes. Sendo assim, no caso de um MGB, na medida em que a variância cresce linearmente com k , a razão R_k deveria convergir a 1 quando k cresce. Na presença de reversão à média, por outro lado, a variância é delimitada a um determinado nível a medida que k cresce. Ou seja, a razão da variância, R_k , deveria cair para valores altos de k , indicando que os choques de preço não são permanentes e que os preços tem reversão a um valor de equilíbrio.

A partir das séries de açúcar e etanol e de suas equivalentes deflacionadas, obtive-se como resultado os gráficos 7.1 e 7.2.

Gráfico 7.1 - Razão da Variância R_k para diferentes lag k :





O teste da razão da variância de Pyndick (1999) foi aplicado às séries de etanol e açúcar, a suas respectivas equivalentes deflacionadas e também ao logaritmo neperiano das séries. Pode-se notar que em todas as séries, inicialmente, há um aumento da razão da variância, R_k , com o aumento do $\text{lag } k$. Este fato é consistente tanto com MGB quanto com o MRM. Pode-se reparar ainda que R_k cresce no início e, quando atinge um máximo, começa a cair. Após esta queda, por volta do $\text{lag } 70$, as séries começam a cair mais lentamente tendendo a uma estabilidade a longo prazo.

Sendo assim, pode-se notar que todas as séries de etanol e açúcar tendem a uma reversão à média, visto que nas séries naturais e nas deflacionadas encontra-se certa tendência de estabilidade diferente de um. Essa tendência, para as séries de açúcar, é por volta de 1,7 e, para seus respectivos logaritmos neperianos, por volta de 1,7 para a série natural do açúcar e 2,0 para a deflacionada. Já no caso das séries de etanol, a tendência é por volta de 0,7 e 0,8 para a série natural e deflacionada, respectivamente, e de 0,6 e 0,7 para seus respectivos logaritmos neperianos.

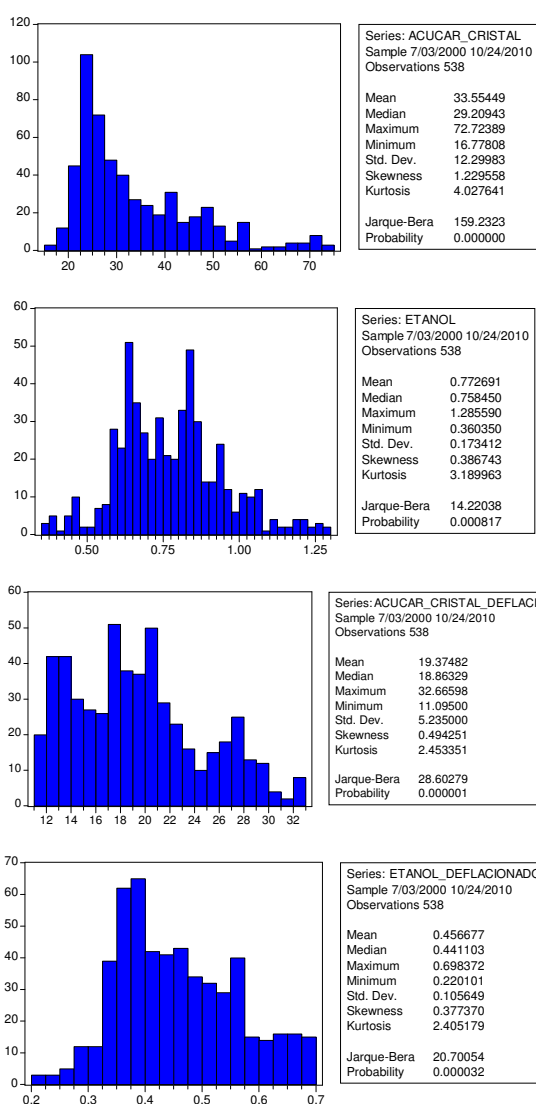
7.1.3 Teste de Jarque-Bera

Complementando o teste de Dickey-Fuller, foi também testada a normalidade da série para que fosse possível a avaliação do melhor modelo de previsão dos preços das *commodities* em questão. Tendo em vista que o MGB tem a premissa de que os preços tem uma distribuição log-normal, e que no MRM

pressupõe-se que as séries tenham uma distribuição normal, realizou-se o teste de Jarque-Bera (JB). O mesmo foi realizado usando o *software E-Views*.

O Gráfico 7.2 mostra o histograma das séries de etanol e açúcar naturais e deflacionadas, algumas de suas características como média, mediana, desvio-padrão, curtose, dentre outros e também o valor do teste de Jarque-Bera e sua probabilidade.

Gráfico 7.2 - Histograma Séries Etanol, Açúcar, Etanol Deflacionado e Açúcar Deflacionado



Fonte: E-Views

O teste de Jarque-Bera serve para verificar se a série segue uma distribuição normal ou não. Ele mede a diferença entre a assimetria e a curtose da série com a distribuição normal. Isso ocorre da seguinte forma:

$$Jarque - Bera = \frac{N - k}{6} \left(S^2 + \frac{(K - 3)^2}{4} \right)$$

Onde,

S é a assimetria;

k é a curtose;

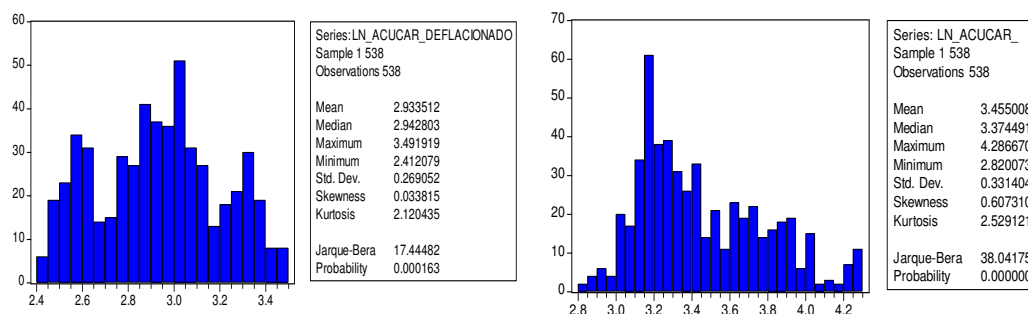
K é o número de coeficientes estimados para se criar a série.

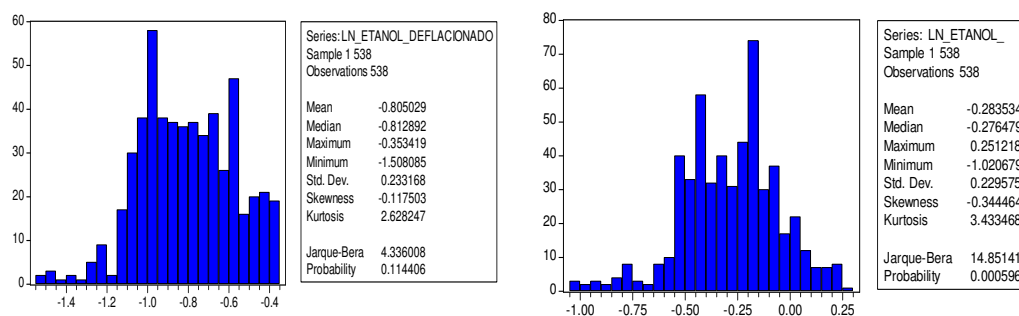
Sob a hipótese nula de normalidade, a estatística de JB é distribuída como uma chi-quadrada com 2 graus de liberdade. A probabilidade reportada é a probabilidade da estatística de JB exceder (em valor absoluto) o valor observado sob a hipótese nula. Um valor de probabilidade baixo leva à rejeição da hipótese nula de distribuição normal.

A estatística de Jarque-Bera rejeita normalidade a favor de não normalidade quando a mesma for maior que seis, com nível de significância igual a 5%. Quando assimetria e curtose são grandes, a curva em forma de sino que caracteriza a distribuição normal fica muito irregular e a expressão de Jarque-Bera terá um valor maior que 6,0. Isso então indica a presença de não-normalidade na distribuição dos dados.

Para o açúcar, para o etanol e suas respectivas séries deflacionadas, em todos os casos, foi rejeitada a hipótese de normalidade. Já quanto ao log-neperiano destas mesmas séries, pode-se observar no Gráfico 7.3 que apenas o log-neperiano do etanol não rejeitou a hipótese de normalidade enquanto todos os log-neperianos das outras séries rejeitaram.

Gráfico 7.3 - Histograma Séries $\ln(\text{Etanol})$, $\ln(\text{Açúcar})$, $\ln(\text{Etanol Deflacionado})$ e $\ln(\text{Açúcar Deflacionado})$





Fonte: E-Views

O fato de o log-neperiano da série de etanol ser considerado uma distribuição normal significa que a série de log-neperiano de etanol possui uma distribuição log-normal.

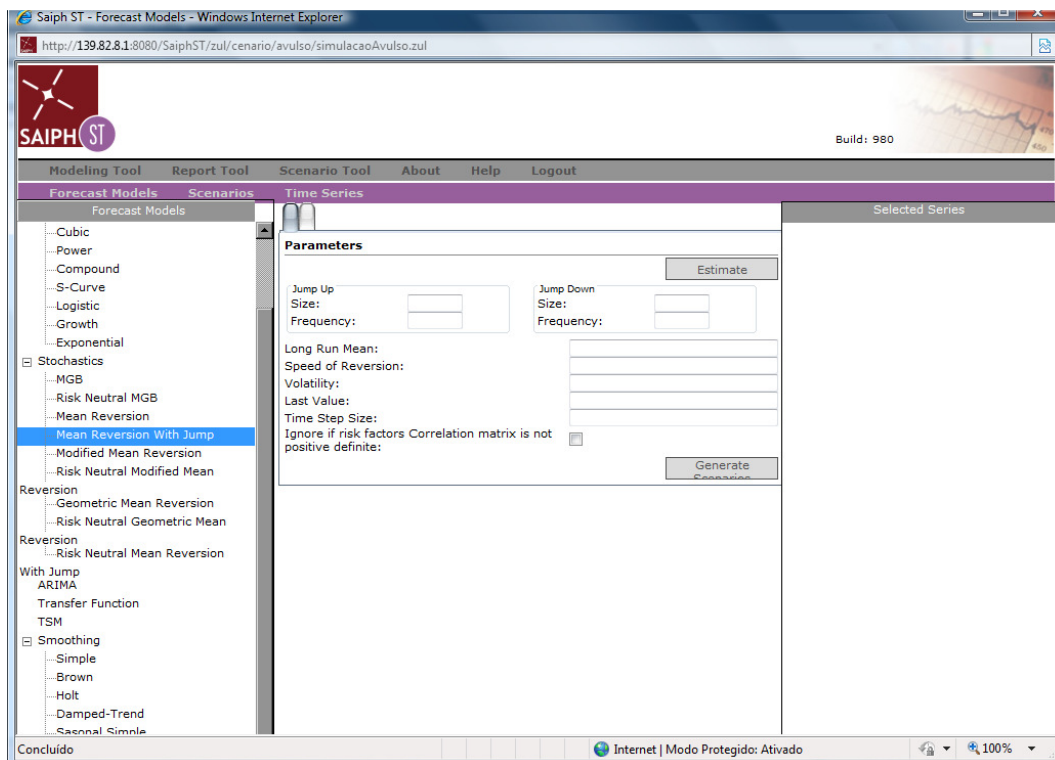
7.2 Aplicação da Simulação de Monte Carlo na determinação do valor da opção de conversão

Para a simulação dos preços de açúcar e etanol foram utilizadas as séries deflacionadas dos mesmos. A simulação de Monte Carlo foi utilizada para gerar 104 valores para cada tempo. Ou seja, foram gerados 104 cenários para 100 semanas a frente. O software utilizado para simular os preços de acordo com o movimento de reversão à média com saltos utilizando Monte Carlo foi o Saiph.

O Saiph é um software desenvolvido pela Extend-net que permite a análise e gestão de risco (E@R, CR@R e P@R), valuation probabilístico (estocástico), análise de sensibilidade, análise de investimentos, avaliação de hedge, precificação de ativos financeiros por simulação, dentre outras coisas.

Foi utilizada apenas o módulo “Scenario Tool” do programa. Neste módulo as séries foram importadas na aba “Time Series” e logo após foi modelada de acordo com o movimento escolhido em “Forecast Models”. As séries geradas foram exportadas da aba “Scenarios”. Abaixo se pode ver uma das telas do Saiph aberto justamente em “Forecast Models”.

Figura 7.2 - Tela do Saiph no Módulo Scenario Tool aba Forecast Models



Conforme é possível observar na figura acima, o programa estima os parâmetros do processo estocástico escolhido automaticamente. Os parâmetros utilizados para cada uma das séries se encontram nas tabelas que se seguem:

Tabela 7.3 - Etanol Deflacionado: Parâmetros utilizados na Reversão à Média com Saltos de Poisson

Etanol Deflacionado	
Média de Longo Prazo	0,4592350
Velocidade de Reversão	0,01305
Volatilidade	0,01139
Último Valor	0,47358
Tamanho do Intervalo de Tempo	1,00000
Jump Up - Tamanho	2,09856
Jump Up - Frequência	0,01130
Jump Down - Tamanho	0,59375
Jump Down - Frequência	0,01195

Tabela 7.4 - Açúcar Deflacionado: Parâmetros utilizados na Reversão à Média com Saltos de Poisson

Açúcar Deflacionado	
Média de Longo Prazo	19,48333
Velocidade de Reversão	0,00395
Volatilidade	0,47156
Último Valor	30,59693

Tamanho do Intervalo de Tempo	1,00000
Jump Up - Tamanho	1,94988
Jump Up - Frequência	0,00957
Jump Down - Tamanho	0,57593
Jump Down - Frequência	0,00829

De posse desses parâmetros foi realizada a simulação que teve como resultado os seguintes gráficos para os preços de etanol e açúcar respectivamente:

Gráfico 7.4 - Simulação dos Preços de Etanol

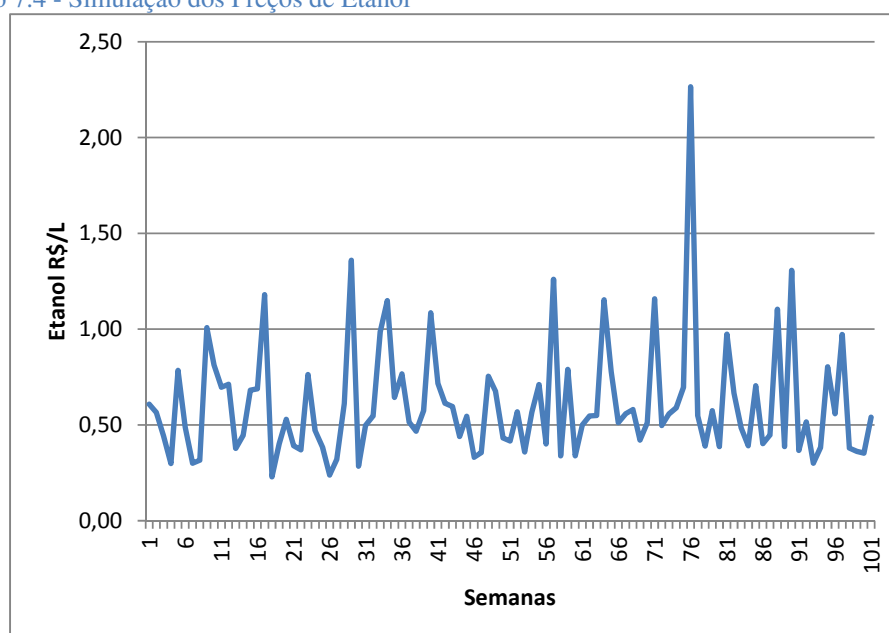
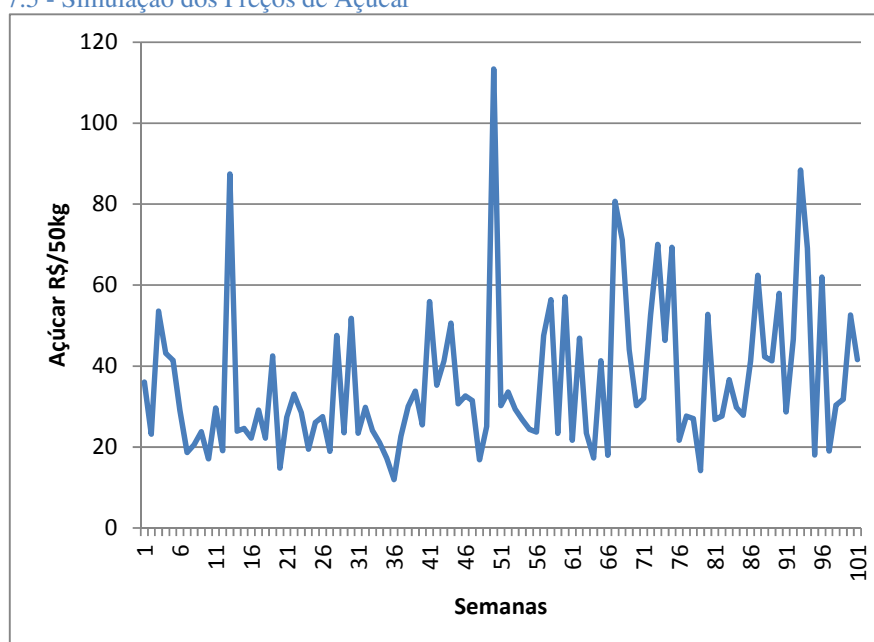


Gráfico 7.5 - Simulação dos Preços de Açúcar



No próximo capítulo a partir destes dados obtidos na simulação será descrito como será realizado os cálculos do fluxo de caixa para o cálculo da opção de conversão.