



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**  
**DOUTORADO EM ADMINISTRAÇÃO**  
**MODELAGEM QUANTITATIVA**

**SANDRA DA CRUZ GARCIA DO ESPÍRITO SANTO AGUIAR**

**PREVISÃO DO PREÇO DA *COMMODITY* DO BUTADIENO A PARTIR  
DO USO DE REDES BAYESIANAS**

Porto Alegre - RS  
2014



**SANDRA DA CRUZ GARCIA DO ESPÍRITO SANTO AGUIAR**

**“PREVISÃO DO PREÇO DA *COMMODITY* DO BUTADIENO A  
PARTIR DO USO DE REDES BAYESIANAS”**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da UFRGS, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Administração.

Orientador:  
Professor Denis Borenstein, Ph.D.

Porto Alegre  
2014

**PREVISÃO DO PREÇO DA *COMMODITY* DO BUTADIENO A PARTIR DO USO  
DE REDES BAYESIANAS**

**SANDRA DA CRUZ GARCIA DO ESPÍRITO SANTO AGUIAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da UFRGS,  
como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em Administração.

Professor Dr. Denis Borenstein  
**Orientador**

Professora Dra. Denise Lindstrom Bandeira  
**Membro**

Professora Dra. Liane Werner  
**Membro**

Professor Dr. Tomas Daniel Menendez Rodriguez  
**Membro**

Porto Alegre  
2014

## CIP - Catalogação na Publicação

da Cruz Garcia do Espírito Santo Aguiar, Sandra  
Previsão do preço da commodity do butadieno a  
partir do uso de Redes Bayesianas / Sandra da Cruz  
Garcia do Espírito Santo Aguiar. -- 2014.  
165 f.

Orientadora: Denis Borenstein.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Administração, Curso de Administração, Porto Alegre,  
BR-RS, 2014.

1. Redes Bayesianas. 2. Commodity. 3. Butadieno.  
4. Previsão. 5. Inteligência Artificial. I.  
Borenstein, Denis , orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ao meu amigo e companheiro de todas as horas, de todas as madrugadas, que sempre me apoiou que estive comigo em cada momento de alegria e tristeza, de dor e de angústia, de sorrisos e felicidades, de dúvidas e medos, de certezas e afirmações. Que me emprestou o ombro todas as vezes que eu me senti só, e me sussurrou aos ouvidos quando eu mais precisei. A ti Jesus Cristo.

À Isabelle que no princípio desta pesquisa era uma adolescente e se tornou mulher, Ao Giovanni que era uma criança e se tornou adolescente, Ao Matheus, que estava em outra dimensão e se tornou criança. Dedico pelo carinho, principalmente compreensão por todos esses anos em que quase os deixei tão hábeis neste tema quanto eu, e por terem me esperado.

## **AGRADECIMENTOS**

Nesta caminhada muitos colaboraram, seja com uma palavra, com apoio emocional, moral ou com ajuda mais efetiva. Não conseguiria chegar até aqui sozinha. Por isso quero expressar meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta conquista: o doutorado.

A DEUS, autor e consumidor da minha vida, e porque sem Ele, nada disso teria acontecido;

Aos meus pais, José e Osvaldina Garcia, que SEMPRE me apoiaram incondicionalmente, que me compreenderam e motivaram a chegar até aqui;

À minha irmã Sueli, que sempre esteve do meu lado e que vai comemorar comigo esta conquista;

Ao PPGA da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

À Universidade Federal de Rondônia, UNIR;

Ao meu orientador, amigo e grande incentivador, professor Dr. Denis Borenstein, que não mediu esforços para me ajudar a chegar até aqui. E que mesmo à distância fez o impossível para que eu alcançasse êxito neste trabalho;

Aos professores da banca, Professora Dra. Denise Lindstrom Bandeira, Professora Dra. Liane Werner e professor Dr. Tomás Daniel Menéndez Rodríguez por aceitarem este desafio;

Aos professores do PPGA, principalmente aos da área de Modelagem Quantitativa, em especial à Professora Dra. Denise Lindstrom Bandeira, que sempre acreditou em mim, e ao professor. Dr. João Luiz Becker;

Ao pessoal da Secretaria e biblioteca do PPGA: Luiz Carlos, Thiago, Dejanira, Tânia e Ana;

Ao professor Henrique Freitas por me hospedar em sua casa, quando da minha chegada em Porto Alegre;

Ao amigo-irmão Jean Carlo que me acompanha desde a graduação, passamos juntos pela especialização e findamos com o doutorado, pela sua amizade incondicional e atemporal;

Ao amigo Wander Pereira, que foi para mim um suporte emocional;

Ao ex-aluno, vizinho em POA, colega de turma e amigo para a vida toda, professor Dr. Erasmo Carvalho e sua família, que compartilharam bons e nem tão bons momentos vividos nessa cidade;

Ao professor Francisco Cordeiro por existir em minha vida;

Aos professores, colegas da Universidade, que foram comigo para Porto Alegre nesse desafio, e compartilharam das mesmas emoções, em especial à professora Rosália;

Aos colegas do PPGA, em especial ao Marcelo Berger, Gilmar Casalinho, Priscila Borgonhoni, Adriano Beluco, Milton Araújo, Camilo Bórnia, Diego Carlin, Rodrigo Meleu e Juan Leandro, com especial carinho ao Gabriel Braido que se tornou um amigo particular e foi importante na caminhada pós sala de aula, sempre dando uma palavra de esperança e fé;

Aos bispos Almeida, Dulce e Paulo Ortêncio e aos pastores Vanderlice, Maria Tavares, Earle, Luis Hugo e Juraci Hugo por orarem por mim durante este período;

Aos amigos da Igreja Quadrangular do Cristal em Porto Alegre, em especial à Álex Sandra e Luciano Oliveira, por uma palavra;

À D. Vera, uma mãe que encontrei em Porto Alegre, que esteve ao meu lado todos esses anos, cuidou de mim e dos meus filhos, enxugou minhas lágrimas e sorriu comigo;

Aos amigos Rosana Roque, Dirceu e Katia Pereira, que literalmente me sustentaram nessa cidade, e ao eterno amigo pastor Antônio Venny (*in memoriam*), que não chegou a ver a conclusão desse trabalho, mas que muito me ajudou a compreender os caminhos do Pai;

Aos amigos Ribamar e Julismar que me ajudaram com o SPSS;

Ao colega Alex Fermio que se dedicou a me ensinar a trabalhar com o GeNle 2.0;

Ao professor Dr. Tomás Daniel Menéndez Rodríguez, por revisar esta pesquisa;

Ao professor. Dr. Clarides Henrich de Barba, por ceder gentilmente seus dias e noites, na correção e configuração desta pesquisa e por ser meu amigo;

Ao professor Dr. Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão, meu orientador do mestrado, por me ajudar a superar um momento tão difícil;

Ao colega da graduação em Administração José Antonio de Sousa, que gentilmente se propôs a ajudar nas traduções;

Aos meus amigos da graduação em Engenharia Civil que torceram por mim, Silvana Juju, Silvio e Cila;

Aos amigos da graduação em Administração Flávio, Sandra, Jean, Wil, Edlene, Luciana, Zé, Manoelzinho, Ane, Flô e Nésia: “Somos amigos, amigos, amigos prá valer!”;

Ao recém-amigo Hugo Luis, que não me deu folga, nem um dia, até eu entregar esta tese, agradeço a insistência;

Aos amigos da extinta Fundação Riomar que me incentivaram muito;

Ao trio ternura Jemerson, Danilo e Rodrigo, da Igreja Batista de Jardim São Paulo em Recife, Igreja que me acolheu por 2 anos e meio;

Aos tios do estacionamento Gabriel e Graça, que me ajudavam a encontrar uma vaga no estacionamento em frente à Escola de Administração, e que, uma vez correram na minha sala de aula para não deixar meu carro ser guinchado;

Aos amigos da copiadora Renê e Neco que sempre foram solícitos comigo, imprimindo meus trabalhos mesmo quando eu estava à distância, e que uma vez, até reabriram a gráfica e ligaram as máquinas para impressão do meu Projeto de Tese, após já terem fechado tudo;

Aos guris da lancheria da frente da EA;

Ao pessoal de apoio da EA, da portaria e limpeza.

A todas essas pessoas e às demais, que por ventura não foram citadas, mas que contribuíram com este trabalho através de uma palavra, um conselho, um abraço ou mesmo um olhar, o meu muito obrigado!

“A quem honra, honra!” Romanos 13:7b.

A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.

Albert Einstein

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
ARIMA	Modelo Autorregressivo Integrado de Média Móvel
ARMA	Modelo Autorregressivo de Médias Móveis
BBL	Barril (158,987294928 litros – EUA)
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BM&F	Bolsa de Mercadorias e Futuros
BOVESPA	Bolsa de Valores do Estado de São Paulo
BP	British Petroleum
BR	Butadiene Rubber
BRIC	Brasil-Rússia-Índia-China
C <sub>4</sub>	Carbono 4
CAPM	Capital Asset Pricing Model
CECA	Comunidade Europeia do Carvão e Aço
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CGARCH	Component - Generalized Autoregressive Conditional Heterocedasticity
CMAI	Communication Multimedia And Infrastructure
CPMAI	Chemicals & Petrochemicals Manufacturer's Association of India
DAG	Directed Acyclic Graphs
DSS	Decision Support System
E&P	Exploração e Produção
E-GARCH	Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heterocedasticity
EM	Esperança Máxima
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FED	Federal Reserve System
FIGARCH	Fractionally Integrated GARCH
GARCH	Generalized Autoregressive Conditional Heterocedasticity
GARCH-M	Generalized Autoregressive Conditional Heterocedasticity Multivariados

IA	Inteligência Artificial
ICIS	International Collective Investment Scheme
IISRP	International Institute of Synthetic Rubber Producers, Inc
ISRG	International Rubber Study Group
ITRO	Internacional Tripartite Rubber Organisation
Log	Logaritmo decimal
MME	Ministério das Minas e Energia
MPLA	Movimento Popular pela Libertação de Angola
MV	Máxima Verossimilhança
Não OPEP	Países que não participam da OPEP
NBER	Nacional Bureau of Economic Research
NBR	Nitrile Butadiene Rubber
NCDC	National Climatic Data Center from EUA
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PC	Ponto Crítico
PCP	Porcentagem De Predição Correta
PIB	Produto Interno Bruto
PNB	Paris National Bank
RB	Redes Bayesianas
SBR	Stirene Butadiene Rubber
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
UNITA	União Nacional pela Independência Total de Angola
USDA	Departamento da Agricultura dos Estados Unidos
VAR	Modelos de Previsão com Vetores Autorregressivos
WTI	West Texas Intermediate

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Probabilidade de um evento A ocorrer .....	63
Equação 2 - Probabilidade de ocorrência de evento ocorrer é $\geq$ zero .....	63
Equação 3 - Probabilidade de ocorrer eventos disjuntos $=1$ .....	63
Equação 4 - Probabilidade de ocorrer algo impossível .....	63
Equação 5 - Probabilidade de um evento não ocorrer .....	64
Equação 6 - Probabilidade de ocorrer o evento A ou o evento B.....	64
Equação 7 - Probabilidade de ocorrência da frequência em relação ao todo .....	65
Equação 8 - Probabilidade do preço do butadieno ser superior à R\$ 280,00 entre janeiro de 1992 a janeiro de 1993.....	65
Equação 9 - A probabilidade de ocorrer o evento A já que o evento B já ocorreu	66
Equação 10 - A probabilidade de ocorrer os eventos $A_1, A_2, \dots, A_n$ , simultaneamente .....	67
Equação 11- Probabilidade de ocorrer eventos independentes .....	67
Equação 12 - Teorema de Bayes.....	68
Equação 13 – Média Aritmética.....	114

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho da tese.....	32
Figura 2 - Configuração espacial do 1,3 Butadieno.....	38
Figura 3 - Consumo Final de SBR 2010/1.....	38
Figura 4 - Variação nominal do preço do Petróleo e Butadieno no período entre setembro/1988 e dezembro/2010 (U\$/ton).....	40
Figura 5 - (a) Produção/(b) Demanda Mundial de Butadieno por regiões.....	41
Figura 6 - Diagrama de Eüler-Venn para a ocorrência do conjunto vazio.....	64
Figura 7 - Conjunto unitário.....	64
Figura 8 - Diagrama de Eüler-Venn para a ocorrência do conjunto A ou B.....	65
Figura 9 - Rede Bayesiana a partir de variáveis e suas relações.....	75
Figura 10 – Modelo da Pesquisa.....	78
Figura 11 - Desenho geral dos procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa.....	79
Figura 12 - Estruturas de formação da RB do Butadieno.....	94
Figura 13 - Representação das estruturas do estudo.....	113
Figura 14 - Início da Rede Bayesiana.....	116
Figura 15 - Rede Bayesiana da Figura 14.....	119
Figura 16 - Conjunto de dados.....	121
Figura 17 - Dados reais do ano de 2010.....	122
Figura 18 - Inferência para o preço do butadieno em junho de 2010.....	123
Figura 19 - Inferência para o preço do butadieno em novembro de 2010.....	124
Figura 20 - Cotação do butadieno no período de janeiro de 1988 à novembro de 2010.....	125
Figura 21 - Rede Bayesiana para o butadieno de setembro de 1988 à dezembro de 2006.....	126
Figura 22 - Inferência para o preço do butadieno em junho de 2007.....	127
Figura 23 - Inferência para o preço do butadieno em dezembro de 2007.....	128
Figura 24 - Resultado da inferência.....	130
Figura 25- Abrindo o conjunto de dados com o <i>software</i> GeNIe 2.0.....	163
Figura 26 - Conjunto de dados no <i>software</i> GeNIe 2.0.....	163
Figura 27- Discretização da variável butadieno.....	164
Figura 28 - Resultado da discretização.....	165
Figura 29 - Estabelecimento de uma estrutura <i>a priori</i> .....	166
Figura 30 - Procedimento de estruturação da Rede Bayesiana.....	167
Figura 31 - Matriz de Correlação entre as variáveis.....	167
Figura 32 - Rede Bayesiana estruturada pela pesquisadora.....	168
Figura 33 - Rede Bayesiana para a <i>commodity</i> butadieno estruturada.....	169

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Crescimento da produção mundial de Petróleo (%a.a.) .....	46
Gráfico 2 - Evolução do preço de perfuração do poço de Petróleo .....	47
Gráfico 3 - Crescimento mundial do PIB .....	48
Gráfico 4 - PIB dos países pertencentes à OPEP entre 1988 e 2010.....	84
Gráfico 5 - Ranking da produção de Petróleo no mundo .....	88
Gráfico 6 - Cotação do preço nominal do Butadieno em dólar/ton .....	97
Gráfico 7 - Variação do preço do Butadieno no período entre jan/2008 e dez/10 ...	97

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Visualização do Referencial Teórico .....	33
Quadro 2 - Forças e Fraquezas das Borrachas .....	39
Quadro 3 - Modelos de previsão de preços da <i>commodity</i> de Petróleo .....	53
Quadro 4 - Resumo da Fase 1 .....	80
Quadro 5 - Resumo da Fase 2 .....	83
Quadro 6 - Conflitos nos países membros da OPEP entre 1988 e 2010 .....	86
Quadro 7 - Crises Financeiras no período entre 1988 e 2010 .....	87
Quadro 8 - Sequência para a construção da RB .....	92
Quadro 9 - Resumo dos fatos históricos no período entre 1988 e 2010 .....	108
Quadro 10 - Critérios de confiabilidade estimada para o Alfa de <i>Cronbach</i> .....	111
Quadro 11 - Genealogia da Rede Bayesiana da Figura 14 .....	117
Quadro 12 - Reprodução parcial do Quadro 9 entre o PC-4 a PC-8 .....	139
Quadro 13 - Reprodução parcial do Quadro 9 entre P-14 e P-18 .....	141

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número total de combinações possíveis.....	71
Tabela 2 - Desempenho da previsão do petróleo.....	72
Tabela 3 - Pontos críticos (PC) do Butadieno no período de set/88 a dez/2010..	99
Tabela 4 - Estatística de Confiabilidade .....	111
Tabela 5 - Estatística do item-total .....	112
Tabela 6 - Estatística de item-total para 11 variáveis.....	112
Tabela 7 - Matriz de componente Rotativa.....	112
Tabela 8 - Estruturas encontradas a partir do Alfa de <i>Cronbach</i> .....	113
Tabela 9 - Escala de representação do questionário aplicado.....	114
Tabela 10 - Tabela de Probabilidade Condicional(CPT) .....	105
Tabela 13 - Resultado do Teste de KMO e Barlett.....	134
Tabela 14 - Matrizes anti-imagem: Covariância e correlação .....	134
Tabela 15 – Comunalidades.....	135

## RESUMO

As teorias que sustentam os modelos de precificação têm obtido resultados pouco satisfatórios ou insatisfatórios, uma vez que em cada estudo busca aproximar-se da realidade por apenas uma face, não observando o problema de todos os ângulos. Nesse sentido, percebeu-se um *gap* nos estudos de previsão, explorar sob outras lentes a dinâmica das variáveis do mercado que influenciam a formação do preço para o seu prévio monitoramento. Assim, o objetivo desta pesquisa foi construir uma ferramenta de apoio à decisão que pudesse prever, periodicamente, o preço futuro de uma *commodity* a curto e médio prazo, notadamente para o butadieno, um derivado do petróleo. Para que isto fosse possível, foi realizada a datação dos pontos de mudança do preço dessa *commodity*, frente aos acontecimentos históricos e, a partir daí, construído o estudo sobre três estruturas: mercado, política e econômica. A partir de então, observou-se quais seriam as variáveis mais consistentes para formar a base da pesquisa. As previsões obtidas revelam um desempenho superior às pesquisas anteriormente realizadas. Assim, a análise da previsão dos pontos de mudança constitui um instrumento informativo para sinalizar o comportamento futuro do preço da *commodity* do butadieno. A ferramenta utilizada para o modelo de precificação de modo a compreender a natureza das flutuações foram as Redes Bayesianas, que apresentam a capacidade de expressar as probabilidades e de um conjunto de variáveis aleatórias previamente definidas, e fazer previsões adequadas. A inferência sobre o preço da *commodity* do butadieno, a curto e médio prazo, é realizada com o auxílio do *software* GeNIe 2.0. Conclui-se que investir em pesquisas que utilizem de Inteligência Artificial como métodos preditivos, como a utilização de Redes Bayesianas apresenta a vantagem de compreender a relação causa e efeito através da análise de Cenários. Assim, o objetivo de construir uma ferramenta de apoio à decisão que pudesse prever, periodicamente, o preço do butadieno a curto e médio prazo, foi alcançado. Para determinado período houve 84% de chances de acerto nas previsões.

Palavras-Chave: Previsão. *Commodity*. Inteligência Artificial. Redes Bayesianas.

## ABSTRACT

The theories that support pricing models have obtained little satisfactory or unsatisfactory results, once each study examines only one aspect of reality, without studying the problem as a whole. In this sense its necessary to explore under other aspects the dynamics of market variables that influence the pricing for its prior monitoring. The objective of this research was to build a decision support tool capable of periodically forecast the future price of a *commodity* in the short and medium term, especially for butadiene, an oil derivative. To make it possible, was done the dating of turning points in the price of this *commodity* compared to the historical events and based on these data to build this study on three structures: market, political and economic. Then, we identified the most consistent variables to form the basis of the research. The forecasts obtained show a higher performance compared to previous investigations. Thus, the forecast analysis of turning points is an informative tool to signal the future behavior of the price of this *commodity*. To understand the nature of these fluctuations, the method used in the pricing model were the Bayesian networks, which are capable of expressing the probabilities of a set of random variables defined previously and make appropriate predictions. The inference on the *commodity* price of butadiene – in the short and medium term, was performed using the Genie 2.0 software. The conclusion was that investing in research using artificial intelligence and predictive methods such as the Bayesian networks, has the advantage of understanding the relationship of cause and effect through scenario analysis. So the objective of building a decision support tool that can predict periodically, the price of butadiene in the short and medium term, has been achieved. For certain period was 84% accurate in forecasts of chances.

**Keywords:** Forecast. *Commodity*. Artificial Intelligence. Bayesian Networks.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1 Formulação de Problema .....	23
1.2 Contribuição e relevância da pesquisa .....	28
1.3 Objetivos da pesquisa .....	30
1.3.1 Objetivo geral .....	30
1.3.2 Objetivos específicos.....	30
1.4 Estrutura da Tese .....	30
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>33</b>
2.1 <i>Commodities</i> .....	33
2.1.1 Aspectos que caracterizam a <i>commodities</i> .....	35
2.1.2 A <i>commodity</i> do butadieno .....	37
2.1.3 O mercado de <i>Commodities</i> .....	42
2.1.4 Fatores de Formação do Preço das <i>Commodities</i> .....	43
2.1.5 Modos de previsão de preços de <i>Commodities</i> .....	49
2.2 Dualidade entre risco e incerteza .....	55
2.2.1 Estudo de Cenários .....	58
2.2.2 Gerenciamento de risco na logística.....	59
2.3 Teoria da Probabilidade Bayesiana .....	61
2.3.1 Conceitos de Probabilidade .....	62
2.3.1.1 Probabilidade Básica .....	62
2.3.1.2 Probabilidade Condicional .....	66
2.4 Redes Bayesianas .....	68
2.4.1 Desenvolvimento de uma Rede Bayesiana.....	71
2.4.2 Aplicabilidade das Redes Bayesianas.....	74
2.4.3 Ferramentas disponíveis .....	75
<b>3 ASPECTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>77</b>
3.1 Modelo da pesquisa e apresentação das variáveis.....	77
3.2 Procedimentos metodológicos da coleta e da análise dos dados .....	79
3.3 Análise das variáveis .....	83
3.3.1 PIB .....	83
3.3.2 Atividade Econômica .....	85
3.3.3 Taxa de câmbio .....	85

3.3.4 Conflito .....	85
3.3.5 Crise financeira .....	86
3.3.6 Petróleo .....	87
3.3.7 Possibilidade de conflito .....	88
3.3.8 Borracha sintética .....	89
3.3.9 Borracha Natural .....	90
3.3.10 Aço .....	91
<b>4 CONSTRUÇÃO DA REDE BAYESIANA.....</b>	<b>92</b>
4.1 Seleção dos fatores de mercado .....	93
4.1.1 Variáveis Políticas .....	94
4.1.2 Variáveis Econômicas.....	95
4.1.3 Variáveis de Mercado.....	96
4.2 Análise do preço da <i>commodity</i> (variável primária).....	96
4.3 Datação histórica do período de Referência.....	99
4.4 Seleção das variáveis e desenvolvimento do questionário.....	109
4.5 Validação do Questionário .....	110
4.6 Construção da Rede Bayesiana .....	113
4.6.1 Estruturação e formalização da Rede.....	115
4.6.2 Inferência em Redes Bayesianas.....	119
4.6.3 Estruturação e Treinamento da Rede.....	121
4.6.4 Construção da Rede Bayesiana.....	122
<b>5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>130</b>
5.1 Discussão das variáveis.....	132
5.2 Discussão a respeito das Redes Bayesianas.....	136
5.3 Análise dos Cenários .....	137
5.3.1 Análise do Cenário 1.....	138
5.3.2 Análise do Cenário 2 .....	140
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>142</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>148</b>
<b>Anexos 1 -5.....</b>	<b>158</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Previsão não é tarefa fácil. Prever os preços internacionais de *commodities*, então, torna-se desafiador, em função da complexidade de interesses dos agentes e dos inúmeros fatores envolvidos. As variáveis abrangidas são tantas, com um leque de possibilidades extenso, o que torna o resultado final cheio de incertezas.

As trajetórias de evolução dessas variáveis ora se apresentam comportadas, facilitando a projeção, ora desalinhadas, tornando a previsão algo extremamente desgastante. A falta de uma frequência nos comportamentos das *commodities* vem alargando a faixa de projeções, trazendo incertezas e riscos para o planejamento.

Nos últimos anos, notam-se transformações na forma com que os mercados financeiros encaram as *commodities*. Estas mudanças podem ser observadas principalmente quanto à sua capacidade de geração de rendas e empregos, visto que a sua contribuição para os processos de desenvolvimento econômico e social dos países serem dinâmicos. Há evidente ligação entre o mercado financeiro e o ambiente macroeconômico, uma vez que os movimentos dos índices de ações refletem as expectativas dos agentes econômicos quanto ao futuro da economia.

Por sua vez, o petróleo e seus derivados, pela sua natureza, são direcionadores da economia nos dias atuais. A oscilação do preço do petróleo pode afetar a economia global através de diversos canais ou mecanismos de transmissão como a transferência de riqueza dos consumidores para os produtores de petróleo, o aumento de bens e serviços que se refletem na inflação e na confiança dos consumidores e dos mercados financeiros. Os choques nos preços do petróleo, e por consequência no preço dos seus derivados, são grandes causadores de impactos adversos na economia mundial (HAMILTON, 1983). Esta relação entre o preço do petróleo e o crescimento econômico é bastante discutida na literatura acadêmica e agentes de mercado, visando a redução dos riscos e da incerteza (LAMOUNIER, 2007).

A importância da variação do preço do petróleo e seus derivados, e o impacto causado nos mercados também têm sido objeto de estudo (SADORSKY, 2001). O

principal problema das *commodities* são as grandes flutuações de preço que ocorrem, em geral, em curto espaço de tempo, em função de aspectos mercadológicos e conjunturais, gerando incerteza de renda para os seus participantes, como gestores, armazenadores, atacadistas, exportadores e processadores das *commodities*.

Nesta pesquisa, foi estudada a flutuação do preço de um dos derivados do petróleo, o butadieno, produto fundamental na produção da borracha sintética, artigo largamente usado atualmente. A borracha sintética é atualmente uma *commodity* internacionalmente valorizada graças à sua múltipla utilidade na indústria, sobretudo na automobilística, materiais médico-hospitalar e calçados, sendo a principal substituta da borracha natural.

Gameiro e Saretta (2000) informam que países com a Tailândia, Malásia e Indonésia são os responsáveis por mais de 4/5 da produção mundial, sendo os maiores exportadores de um produto cuja demanda é alta e está em pleno crescimento (PENNACCHIO, 2007). Os preços dessa *commodity* são instáveis, principalmente por serem produzidos por economias emergentes, permitindo assim que as instabilidades econômicas do mercado doméstico dos principais produtores reflitam nos preços do produto. Diesprang, Jacobsen e Maat (2008) consideram que a previsibilidade é maior nos países desenvolvidos e que a subida do preço do petróleo tem como impacto a redução da rentabilidade das ações no futuro.

No mercado internacional ocorrem diariamente transações entre os agentes que negociam diversos tipos de *commodities* em todos os continentes. Com a borracha sintética, não é diferente. Os preços são determinados pelo mercado mundial e não pela oferta doméstica. Assim, as cotações do mercado *spot* podem variar de acordo com a qualidade, quantidade e local de entrega, sendo praticamente impossível calcular um único preço que seja representativo do preço *spot*. Uma das estratégias do mercado de ações para reduzir o impacto destas variações é o uso de técnicas de previsão que minimizem os seus efeitos através de análise dos fatores causadores. Embora não haja um padrão único e universal para a formulação de previsões, faz-se necessário à criação de um esboço para que se possa identificar os agentes responsáveis pela volatilidade e flutuações dos preços no mercado. Isto se dá a partir da construção correta de modelos estatísticos.

A previsão é um dos objetivos das análises quantitativas em economia, e em conjunto com a teoria econômica, utiliza-se de diversas técnicas de previsão para auxiliar na tomada de decisões por parte dos agentes envolvidos em atividades que necessitam de planejamento, avaliação de políticas e redução da incerteza. As previsões econômicas, por sua vez, objetivam reduzir as incertezas, sobretudo num mercado tão volátil como é o das *commodities*. Assim, visando minimizar o risco, dado aos elevados investimentos envolvidos em plantas industriais e canais de distribuição, e buscando nestas técnicas os instrumentos necessários para a tomada de decisão. A partir deste enfoque, esta pesquisa visa construir uma ferramenta de apoio à decisão, que possa prever os valores da *commodity* estudada, reduzindo riscos de investimentos da ordem de bilhões de dólares, e a partir daí, dar suporte para a gestão de riscos no mercado, de forma a permitir que ações preventivas, como a aquisição do produto *just in time*, de modo que não haja custos em excesso com estoques excedentes, sejam tomadas antes que os eventos ocorram, conforme será abordado no próximo item.

## 1.1 Formulação de Problema

O risco é intrínseco a qualquer economia, onde os Cenários são dinâmicos e as circunstâncias se alternam entre equilíbrio e desequilíbrios temporários. Essas variações são característica da economia onde ocorrem variações dos preços dos bens e dos ativos de forma inesperada, tornando necessários modelos associados a instrumentos financeiros que permitam um melhor gerenciamento deste risco.

O risco deriva da incerteza. Incerteza origina-se de alguma deficiência da informação. A informação pode estar incompleta, ser vaga, imprecisa ou contraditória. Para lidar com o problema da incerteza e incompletude nos modelos do mundo real, precisa-se de uma linguagem apropriada e uma representação adequada (formalmente e computacionalmente) de um modelo. A linguagem mais apropriada para lidar com a incerteza é a linguagem da probabilidade, fazendo assim, uso do Raciocínio Probabilístico. Através deste pode-se atribuir um grau de crença às relações do domínio real, reduzindo a incerteza.

Na esfera empresarial, prever os preços futuros das *commodities* pode significar a diferença, entre o sucesso e o fracasso, entre o êxito e a ruína de qualquer investidor. Dispor, portanto, de uma ferramenta capaz de identificar o melhor período para se investir em *commodities*, ou mesmo para nortear futuros investimentos que ofereçam um grau razoável de precisão, de modo a não gerar estoque desnecessário, pode representar um incremento significativo de conhecimento e consequente vantagem competitiva de um investidor frente aos demais.

Este dinamismo, em que a volatilidade de preço é alterada com frequência, é essencialmente maléfica para empresas e países dependentes de petróleo (objeto deste trabalho), tanto consumidores quanto produtores. Existem diversas formas pelas quais um agente pode tentar se proteger destas oscilações no preço. A mais comum é a utilização de instrumentos de *hedge*. A forma mais usual de se fazer um *hedge* é utilizando os mercados futuros, a partir de um “contrato a termo”, no qual ambas as partes, comprador e negociador, se comprometem a, no período determinado em contrato, manter o preço da *commodity* sem as possíveis flutuações de mercado (HULL, 2008).

As abordagens mais utilizadas para análise e gerenciamento dos riscos são compostas por técnicas estatísticas e de simulação. Em pesquisas mais recentes, os pesquisadores têm procurado associar técnicas como a Inteligência Artificial aliada à simulação, visando desenvolver novos sistemas de apoio para a tomada de decisões em trabalhos que possuam fenômenos estocásticos, como é o caso das *commodities*.

O uso crescente de um ramo da ciência da computação que busca elaborar técnicas que simulem a habilidade humana de raciocinar, perceber, tomar decisões e solucionar problemas é a Inteligência Artificial (IA), que tenta compreender e construir entidades inteligentes.

Russell *et. al.* (2004) e Guerrero *et. al.* (2002) afirmam que as técnicas de IA apresentam três características principais que as diferenciam de outros métodos: a) A busca: que procura explorar as diversas possibilidades nas quais os próximos passos ainda não foram claramente definidos; b) O uso do conhecimento adquirido

que explora a estrutura e as relações exteriores, reduzindo o volume de alternativas a serem consideradas, conforme faz o cérebro humano; e c) A abstração que permite a generalização para os passos similares já percorridos.

Entre os tipos de Inteligência Artificial estão as Redes Neurais e o Sistemas de Especialistas, onde se inclui as Redes Bayesianas, objeto do estudo desta tese. Dentre as distintas aplicações da Inteligência Artificial encontram-se: administração de projetos de investimentos, análise do risco de investimentos em moeda estrangeira, avaliação do risco de ações da Bolsa e de debêntures, previsão do comportamento dos preços de *commodities*, de crises econômicas, da cotação das ações na Bolsa e de falência de associações de poupança e empréstimo, entre outras.

Uma destas técnicas desenvolvidas, foco deste trabalho, utiliza o conceito de Redes Bayesianas para gerar Cenários dinâmicos de previsão de preços e análise de riscos no qual os gestores podem acompanhar as operações e os impactos por elas causadas na atividade global em relação ao tempo e ao custo envolvidos.

Em recente estudo sobre a “dinâmica e a especulação do preço do petróleo”, Cifarelli; Paladino (2009) descrevem que os fundos de investimento cresceram de US\$ 13 bilhões em 2003 para US\$ 260 bilhões em meados de 2008. Por conseguinte, comprar em quantidade pode significar ter estoques em abundância, e não comprar em volume pode significar perder o melhor preço. Torna-se necessário, então, a otimização do volume de estoque, através da previsão da flutuação do preço das mercadorias no mercado internacional, para então, definir a quantidade e a melhor época de aquisição.

Segundo Armstrong (2001a) previsão não é o mesmo que planejamento estratégico. Enquanto este é decorrente de eventos internos controláveis a primeira depende de eventos externos não controláveis. Portanto, fazer previsão é possível, através da aplicação de modelos científicos cuja fundamentação teórica dá suporte para a construção de sistemas de decisão voltada ao planejamento da produção e gerenciamento de estoques, cujas abordagens principais baseiam-se em: simulação, otimização e heurística. A simulação é a imitação de um sistema real modelado em computador para avaliação e melhoria de seu desempenho. A otimização é aplicada

a algo que já existe, visando melhorar a configuração para um determinado sistema sem que seja necessário testar todas as possibilidades envolvidas. É realizada através de algumas técnicas de programação linear, não-linear e inteira (HARRELL *et. al*, 2000). Com o crescimento da complexidade dos modelos, que aumentam exponencialmente a complexidade computacional, opta-se por heurísticas, de modo a reduzir o espaço a ser pesquisado.

Hull (1996) sintetiza definindo os contratos futuros como compromissos de compra ou venda de um determinado ativo numa data pré-estabelecida e a um preço (cotação) que reflete as forças de oferta e demanda que atuam naquele momento.

Pretende-se, nesta pesquisa apresentar a relevância das previsões da flutuação do preço das *commodities* de um modo geral, primordialmente, pelo seu prisma econômico, dado a importância da compra destes produtos no mercado internacional, em volumes muito elevados, o que envolve milhões de dólares para os investidores.

*Commodities* são, em geral, produzidas por diferentes produtores e possuem características semelhantes, pois em geral são produtos que podem ser estocadas por um determinado período de tempo sem que haja perda de qualidade, via de regra, são matérias-primas, ou matéria pouco industrializada. Se classificam em 6 categorias principais: Agrícola como o café, trigo, soja, algodão, borracha, suco de laranja congelado; Recursos animais, que podem ser peixes, lulas, crustáceos, ostras, boi gordo, frango; Mineral, exemplificado pelo ouro e petróleo, minério de ferro, alumínio, níquel, prata; Financeira, cujos exemplos são o dólar, euro, títulos públicos de governos federais. Ainda têm-se *commodities* ambientais, como água, créditos de carbono; de recursos energéticos (energia elétrica) e química como o ácido sulfúrico, sulfato de sódio (BM&F, 2010), e borracha sintética.

O mercado de derivativos de *commodities* é extremamente dinâmico e encontra-se em acentuado crescimento e, distribuído em mercados mundiais introduzindo diversos tipos de contratos a serem negociados, abrangendo ativos diversificados e se adaptando para atender, de forma customizada as necessidades

do mercado, estando presente ativamente nas negociações de *commodities* nos diversos continentes (GARCIA; LEUTHOLD, 2004).

O mercado de *commodities* possui particularidade que apresentam determinantes de preço complexos no mercado futuro, possuindo uma liquidez de negociações significativamente superior ao mercado à vista, afetando a negociação de contratos desta última, principalmente por especuladores do mercado. Os agentes econômicos muitas vezes não se interessam em possuir a mercadoria, mas somente realizar transações financeiras no mercado futuro, por isso os modelos que pretendem descrever preços a vista em muitas ocasiões têm como direcionadores os preços nos mercados futuros. Nesta linha, esta pesquisa, foca a estimativa dos retornos, de forma a definir o melhor *timing* de compra destes produtos, para os investidores, sem que haja elevados níveis de estoques. Para se chegar a isto, será discutido a relevância das previsões da flutuação do preço das *commodities* de um modo geral, primeiramente, pelo seu prisma econômico, dado a importância da compra destes produtos no mercado internacional, em volumes muito elevados, envolvendo cifras elevadas, para os investidores e, otimizando a mensuração dos retornos previstos.

Neste contexto esta tese possui as seguintes questões de pesquisa:

- a) Como estabelecer as relações causais que determinam o preço da *commodity* estudada?
- b) Como monitorar a flutuação do preço das *commodities* para auxiliar no processo de tomada de decisão?
- c) Como modelar as séries temporais, visando a previsão?
- d) Quais as relações e interações significativas, que influenciam no preço da *commodity* do butadieno?
- e) Quais as ferramentas disponíveis para prever o preço de uma *commodity*?
- f) Quais foram os choques mais importantes?
- g) Quais as teorias que apontam um padrão de comportamento de flutuação no preço de uma *commodity*?

h) É possível antecipar as flutuações dos preços com o uso das Redes Bayesianas?

i) Quais estratégias poderiam ser implementadas para gerar subsídios para a política de mercado e contratos futuros negociados?

A proposta desta pesquisa é construir uma ferramenta de apoio à decisão para prever o preço do Butadieno, e antecipar as flutuações futuras, com o intuito de captar a dinâmica dos fatores de mercado, e assim, monitorar o comportamento cíclico dos preços.

A hipótese desta pesquisa é a de que “O preço da *commodity* do butadieno é alterado pelas estruturas: Mercado, Política e Econômica”.

## 1.2 Contribuição e relevância da pesquisa

As pesquisas voltadas à previsão de preços são direcionadas a apresentar, o *timing* do melhor investimento. Trabalhos sobre os efeitos da previsão de preços não são raros, no entanto, a proposição da previsão de preço de *commodity* com o uso de Redes Bayesianas, é inédito. Esta pesquisa aproveita-se do *gap* existente, para contribuir com as importantes discussões sobre a utilização de premissas fortes na valoração de investimentos. Ao tempo em que novos trabalhos são desenvolvidos e o conhecimento é disseminado e debatido, mais investidores podem avaliar com maior grau de precisão seus investimentos, aumentando a credibilidade dos investimentos realizados, sobretudo no País e que conseqüentemente trará um reflexo positivo para estes investidores.

É neste contexto que se observa a importância desta pesquisa, o qual desenvolve questões referentes à previsão do comportamento dos preços das *commodities*, para a formulação de estratégias que garantam a sobrevivência das organizações em ambiente volátil, mas também a vantagem competitiva sobre os concorrentes. Vários estudos têm sido elaborados, no sentido de prever os preços das *commodities*. Esta questão vem sendo discutida com base em processos

estocásticos, desde os anos 1980, pela comunidade acadêmica (WATKINS e MCALEER, 2004).

A motivação desta pesquisa está relacionada a dois pontos fundamentais que foram norteadores para a pesquisa proposta neste trabalho. Primeiro, caracterizar as pesquisas até então estudadas, como necessárias e importantes em função das características institucionais e econômicas intrínsecas ao mercado internacional. Além disto, pretende-se apresentar as Redes Bayesianas como alternativa viável para chegar aos objetivos propostos.

Uma das grandes vantagens do uso de Redes Bayesianas em comparação a outros modelos presentes em Inteligência Artificial (IA), segundo Pearl (1993), é a multifuncionalidade presente neste tipo de rede, isto é, um mesmo modelo de Rede Bayesiana pode ser utilizado para prever, avaliar, diagnosticar e otimizar as decisões. Isto é possível, afirma Coelho (1999), pois esta estrutura bayesiana permite realizar a inferência de modos diferentes:

- a) Causal: das causas descobre-se o efeito;
- b) Diagnostical: do efeito descobrem-se as causas;
- c) Intercausal: distinção entre as possíveis causas de um efeito comum;
- d) Misto: usa em conjunto qualquer dos tipos anteriores.

De uma forma geral é possível a construção de toda uma Rede Bayesiana somente através do conhecimento que um especialista no domínio repassa ao engenheiro de conhecimentos do sistema, entretanto este processo em alguns casos torna-se difícil e demorado. Com isto muitos métodos vêm sendo pesquisados objetivando automatizar a construção da Rede Bayesiana a partir das informações disponíveis em uma base de dados.

Neste Cenário de perspectivas quanto à adoção de medidas de previsão de preços se configura como uma das consequências econômicas que os investidores esperam trazer ao mercado. Assim, este trabalho se justifica, em parte, como um instrumento mensurador de resultados de diversas técnicas de previsão de

preços de *commodities*, e apresentando as Redes Bayesianas como a que melhor representa resultados de preços futuros a curto e médio prazo.

### **1.3 Objetivos da pesquisa**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Construir uma ferramenta de apoio à decisão que possa prever, periodicamente, o preço de uma *commodity* a curto e médio prazo, notadamente para o butadieno.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Estabelecer as relações causais que determinam do preço da *commodity*, gerando variáveis e suas relações, através do conhecimento captado junto aos *experts* e das análises das relações que se estabelecem entre elas;
2. Caracterizar a *commodity* do butadieno e estabelecer todas as relações e interações significativas que influenciam no preço;
3. Estudar os fatores de formação do preço da *commodity* do butadieno a partir do petróleo;
4. Detectar a existência ou não dos componentes estocásticos e determinísticos de sazonalidade nos preços da *commodity* do butadieno;
5. Descrever as diversas teorias e mostrar as relações entre os modelos que definam um padrão de comportamento da variação dos preços de *commodities* aplicados ao mercado internacional;
6. Gerar subsídios reais para a política de mercado e contratos futuros negociados e propor estratégias para o gerenciamento dos preços da *commodity* no mercado.

### **1.4 Estrutura da Tese**

Esta tese é composta por seis sessões assim distribuídas: Introdução, Referencial Teórico, Aspectos Metodológicos, Construção da Rede Bayesiana, Discussão dos Resultados e Considerações Finais.

No capítulo 1, são introduzidos o tema de pesquisa, onde se apresenta a formulação do problema investigado, em seguida a contribuição e relevância da pesquisa. A seguir são apresentados os objetivos geral e específicos da tese e a estrutura segundo a qual a pesquisa está apoiada.

Em seguida, no capítulo 2, apresenta-se o Referencial Teórico abrangente, no qual, em princípio, conferem-se os aspectos que caracterizam as *commodities*, de modo geral, e posteriormente, foca-se na caracterização da *commodity* do Butadieno e no seu mercado. A partir de então, como este, exercem influência no preço da *commodity*. Este primeiro item finaliza com a identificação dos fatores de formação do preço das *commodities*.

Sob esta envergadura, propõe-se examinar se os argumentos teóricos para fundamentar a proposta do presente estudo, a partir da análise da teoria do risco e incerteza, para fundamentar o desenvolvimento da previsão do preço das *commodities*. Neste item, é realizado um Estudo de Cenários e o gerenciamento de riscos na logística. Passa-se então ao estudo da Teoria da Probabilidade Bayesiana e por fim, analisa-se o funcionamento das RB's, bem como seu desenvolvimento, os seus métodos, suas aplicabilidades e é apresentado algumas das ferramentas disponíveis para se trabalhar.

No capítulo seguinte (Capítulo 3), descreve-se a metodologia utilizada, considerando as questões de pesquisa, o tipo de pesquisa, e as técnicas de coleta, tratamento e análise de dados. Em seguida estão dispostas as etapas da pesquisa.

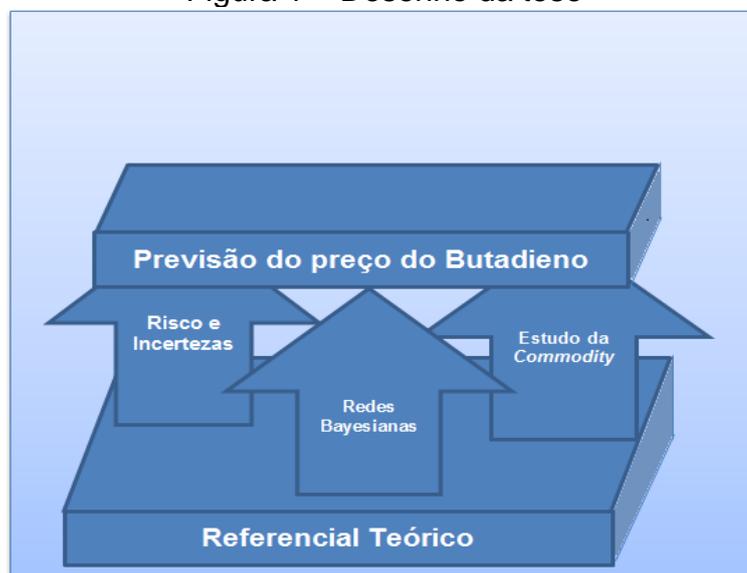
E, finalmente, apresenta-se, no capítulo 4, a construção da Rede Bayesiana desenvolvida para a *Commodity* do Butadieno com os resultados apresentados. Este capítulo é composto de seis etapas. Na primeira etapa, é realizada a seleção dos fatores de mercado e levantamento dos dados. A segunda etapa é caracterizada pelo estudo da variável primária. Na etapa seguinte, é realizada a datação da série histórica de referência. Na quarta etapa, estão selecionadas as variáveis. Seleção das variáveis e desenvolvimento do questionário foi realizada na quinta etapa. A partir daí, é realizada a validação do questionário. Por fim, a última etapa, construída a Rede Bayesiana da *commodity* estudada, para fornecer previsões do preço futuro do butadieno, composta das fases: estruturação e formalização da RB, Inferência

em RB, Estruturação e Treinamento da RB, Construção da RB propriamente dita e os Cenários de inferência.

O quinto capítulo apresenta a discussão dos resultados da pesquisa. São discutidas as variáveis propostas. Passa-se para a discussão a respeito da RB que é continuada com o estudo da análise de Cenários. Finalmente na última sessão apresentam-se as considerações finais do trabalho, destacando uma discussão da aplicabilidade da ferramenta proposta e enfatizando as limitações e as contribuições e sugestões para futuras pesquisas.

Na Figura 1 apresenta-se o desenho da tese, cujo referencial teórico após amplo estudo das teorias acerca do assunto, apoia os três pilares supracitados: Teoria acerca dos Riscos e Incertezas na previsão e da probabilidade Bayesiana, o Estudo da *Commodity* pesquisada é a ferramenta utilizada, que são as Redes Bayesianas do Butadieno, sendo estes o suporte para alcançar com maior êxito de previsão os futuros valores para o preço da *Commodity* estudada.

Figura 1 – Desenho da tese



Fonte: Organizado pela autora

Deste modo, o Referencial teórico desta tese evidencia os conceitos que fundamentam o comportamento dos preços da *commodity*, o que se torna necessário caracterizá-la para desenvolver os fatores de formação do preço das *commodities* de um modo geral, ressaltando a *commodity* do Butadieno que será analisado a seguir.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O Referencial Teórico busca apresentar os temas relacionados ao comportamento dos preços das *commodities*, e está composto de duas partes: a primeira estuda o referencial voltado às *commodities* e à dualidade Risco e Incerteza. A segunda abrange as teorias referentes às Teorias da Probabilidade Bayesiana, que estuda Conceitos de Probabilidade e se aprofunda em Probabilidade Básica e Probabilidade Condicional; e por fim as Redes Bayesianas como ferramentas para previsão do preço das *commodities*, desde o seu desenvolvimento à sua aplicabilidade, e exhibe algumas das ferramentas disponíveis. O Quadro 1 apresenta os aspectos tratados neste Referencial Teórico:

Quadro 1 – Visualização do Referencial Teórico

2.1	<i>Commodities</i>	Aspectos que caracterizam a <i>commodity</i>
		A <i>commodity</i> do Butadieno
		O mercado de <i>Commodities</i>
		Fatores de Formação do Preço das <i>Commodities</i>
		Modelos de previsão de preços de <i>Commodities</i>
2.2	Dualidade entre Risco e Incerteza	Estudo de Cenários
		Gerenciamento de risco na logística
2.3	Teoria da Probabilidade Bayesiana	Conceitos de Probabilidade - Probabilidade Básica - Probabilidade Condicional
2.4	Redes Bayesianas	Desenvolvimento de uma Rede Bayesiana
		Aplicabilidade das Redes Bayesianas
		Ferramentas disponíveis

Fonte: Pesquisa

### 2.1 *Commodities*

Para uma ampla compreensão do objeto de estudo desta pesquisa, é necessário apresentar definições acerca do tema. Alguns conceitos serão desenvolvidos para entendimento das *commodities* e dos mercados financeiros e como são comercializadas estas *commodities*.

A definição da palavra *Commodity*, do inglês expressa “um artigo em comércio” (WILLIAMSON, 1989). Em outras palavras, é uma mercadoria padronizada, de baixo valor agregado, produzida por diferentes produtores, e comercializada em nível mundial. O Novo Dicionário de Economia define como sendo um tipo particular de mercadoria em estado bruto ou produto primário de importância comercial (SANDRONI, 1994). Mas, também é atribuída, segundo Pereira (2009) a insumos ou matérias-primas.

Para o SEBRAE (2006) *commodities* é um termo utilizado em transações comerciais internacionais para designar um tipo de mercadoria em estado bruto ou com grau muito pequeno de industrialização. Matias *et al* (2005), define *commodities* como “um produto especializado, ou de tecnologia amplamente difundida, produzido e transportado em grandes volumes e comercializados mundialmente”. Por sua vez, Williamson (1989) entende *commodity* como:

“Mercadorias geralmente homogêneas, produzidas por diferentes produtores, cuja oferta e demanda são praticamente inelásticas no curto prazo e cujas transações são efetuadas nas principais bolsas de mercadorias internacionais ou são realizadas com base nas cotações vigentes nesses mercados” (p. 24).

Observa-se um aspecto fundamental sobre as *commodities*, que é a negociação em mercados organizados. Por sua vez, Pereira (2009) entende que as *commodities* podem ser comercializadas em diferentes tipos de mercados. As principais *commodities* podem ser divididas em dois grandes grupos: *Soft Commodities*, as que compõem os gêneros agropecuários; e as *Hard Commodities*, formadas pelas *commodities* que agregam recursos minerais. Este estudo foca um *Hard commodity*, visto que o butadieno é subproduto do petróleo e se caracteriza como uma *commodity* química de origem orgânica.

Os produtos orgânicos finais da indústria química são feitos de intermediários químicos ou de *commodities* químicas, que são fabricados predominantemente com base em insumos de origem fóssil, como óleo e gás natural. Esses insumos são craqueados a altas pressões e temperaturas para gerar outros produtos químicos a serem vendidos como *commodities* no mercado ou como insumos para outros produtos químicos (SILVA, 2010).

Segundo o autor, estas *commodities* são produtos fabricados em grandes quantidades, utilizando principalmente processos contínuos, com especificações padronizadas e preços que tendem a ser mais importantes do que seu desempenho para os clientes que as utilizam como insumos para fabricar outros produtos químicos. Estes produtos químicos finais são comercializados no mercado financeiro, de acordo com as características de cada *commodity*. No item a seguir, serão abordados os aspectos característicos da *commodity*.

### **2.1.1 Aspectos que caracterizam a *commodities***

Pereira (2009) afirma que as *commodities* podem ser negociadas em diversos mercados: no mercado a vista, no mercado a termo (ou de balcão), ou nos mercados futuros. A referência mais usada para a definição dos preços das *commodities* são os mercados futuros, que em sua maioria, possuem maior liquidez, são mais transparentes e uma divulgação pública dos valores negociados, daí o preço das *commodities* serem ditadas pelo mercado internacional.

O preço de uma *commodity* está diretamente relacionado à demanda e à oferta do ativo, e conseqüentemente aos volumes de estoque. Quanto maior o estoque disponível para vendas, maior a oferta do produto e assim existe uma tendência de queda nos preços. Por outro lado, estoques baixos significam um maior risco de escassez da mercadoria e, portanto, os vendedores tendem a elevar seus preços para aumentar seus retornos e conseqüentemente reduzir a demanda pelo bem. Seguindo esta mesma lógica, os estoques também representam uma forma de reduzir variações nos preços das mercadorias. A teoria de armazenagem de um ativo baseia-se na explicação da diferença entre os preços à vista e futuro do mesmo analisando por que agentes de mercado guardam estoques e se preocupam com o ganho existente em manter estoques físicos de mercadorias.

Os maiores desafios em relação ao uso de previsão, como apoio à tomada de decisões, conforme Lindberg e Zackrisson (1991) são: a incerteza em relação ao futuro, que define o grau de precisão da previsão; a seleção do método a ser

aplicado para a previsão; a qualidade e confiabilidade dos dados de entrada e a correta interpretação da previsão.

Quanto às transações, as *commodities* apresentam as de mercado *spot* e de mercado futuro. Mercado de *spot*, é definido por Azevedo (1997), é aquele em que as transações se resolvem em um único instante de tempo. Já o mercado futuro, é referenciado em dois ou mais instantes de tempo. O autor propõe que os contratos futuros são aqueles em que as transações podem ocorrer no futuro, assim, há a realização de um contrato entre comprador/vendedor, com a especificação da mercadoria, data de entrega, local, meio de transporte, forma de pagamento, entre outras questões que as partes queiram abordar.

A compra/venda futura não é uma obrigação das partes. Há a volatilização que se dá por conta da flutuação dos preços dos produtos. Assim, Santos (2005) reconhece que de forma isolada, o mercado *spot* não aparenta ser a melhor proposta quando é necessária a estabilidade dos preços e fornecimento, o que é refutado pelo mercado futuro. Taylor (1986), por sua vez, sugere a possibilidade de ocorrência de autocorrelação da volatilidade e heterocedasticidade da maioria das séries financeiras.

O primeiro pode ser chamado de tradicional, onde a fixação do preço do ativo coincide com o momento de sua transação e o pagamento pelo bem adquirido é coincidente com sua entrega. Já o mercado a termo é a negociação realizada com base na compra ou venda de um ativo em uma data futura, por preço previamente estabelecido.

O contrato futuro é padronizado e negociado em bolsa com ajustes diários. Um contrato futuro pode ser genericamente descrito como um acordo realizado em uma data inicial entre as partes para trocar, em uma data futura, uma dada quantidade de uma *commodity* por uma determinada quantia de uma moeda. Além de assegurar preços para produtores, o contrato futuro pretende ser um facilitador para a negociação de *commodities* como instrumentos financeiros. Este mercado pode ser ampliado para outros tipos de investidores que desejam tomar posições sobre ele, como fundos de investimentos, tesourarias de *commodities* e qualquer outro tipo de atores do mercado.

Estas características tornam as *commodities*, uma mercadoria de grande flutuação de preço em curto espaço de tempo. Neste Cenário, a alta volatilidade de preços, os movimentos especulativos, sobretudo àqueles referentes à formação de estoques, podem apresentar-se como obstáculos a operações de grande transação, tornando-se motivo para inspiração desenvolver estratégias para antecipar-se às variações nos preços de produtos no mercado, uma vez que a incerteza não pode ser eliminada, pode ao menos tornar-se inconsequente ou reduzida.

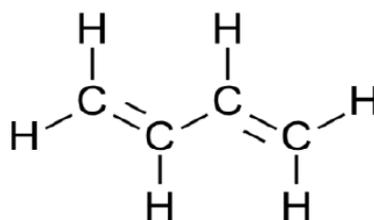
Kaldor (1939) e Working (1948) definem o retorno de conveniência como o prêmio que faz jus o proprietário do ativo físico, mas não o proprietário do contrato futuro. Geman (2005) já define o retorno de conveniência como a diferença entre o ganho positivo de possuir a *commodity* física menos o custo de estocagem. O retorno de conveniência, portanto, pode ser positivo ou negativo, dependendo do período, do tipo de *commodity* e dos níveis de estoque físico.

Os modelos que descrevem preços são quase sempre baseados em processos estocásticos, e em especial quando se analisa *commodities* agrícolas, peculiaridades como sazonalidade, frete, custo de estocagem e o retorno de conveniência, dentre outras, dificultam significativamente a construção destes modelos. Ou seja, a modelagem de preços de *commodities* é complexa operacional e conceitualmente.

### **2.1.2 A *commodity* do Butadieno**

O Butadieno é uma das principais *commodities* petroquímicas, com um consumo de aproximadamente 600.000 toneladas/ano no Brasil e cerca de 9,6 milhões de toneladas/ano no mundo. Trata-se de um gás facilmente inflamável, liquidificável, incolor e utilizado na produção de uma grande variedade de borrachas sintéticas, especialmente nas *Stirene Butadiene Rubber* (SBR), *Butadiene Rubber* (BR), e *Nitrile Butadiene Rubber* (NBR), Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS); e resinas poliméricas. A configuração do isômero 1,3 Butadieno está disposta na Figura 2.

Figura 2- Configuração espacial do 1,3 Butadieno

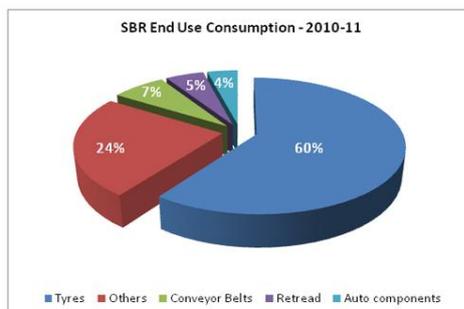


Fonte: Tate (1986)

O butadieno é o monômero base na produção da borracha sintética, obtido através do craqueamento da nafta/gás, e é um subproduto da corrente C<sub>4</sub>, da qual se extrai buteno e butadieno. O seu rendimento é em média de 13% a 15% da produção do eteno, e à medida que são adicionadas outras matérias-primas leves, o percentual é reduzido. Na produção de borracha sintética, o butadieno é homopolimerizado, ou seja, é um único monômero pode produzir polibutadieno (TATE, 1986).

Deste modo, cerca de 55% de todo Butadieno produzido pelas petroquímicas são direcionados para fabricação de Borrachas de SBR. O Butadieno bruto, entre eles, o originado da dihidrogenação do Butileno e, principalmente os extraídos de olefinas que são hidrocarbonetos saturados, são as bases primárias. Solventes específicos são usados para extração. O craqueamento dos hidrocarbonetos, como frações da Nafta, Óleo, Gás, Condensado de Etano ou Propano, e resíduos de Óleo cru são largamente usados para produzir Etileno e Butadieno, e seus subprodutos. A Figura 3, abaixo, apresenta o uso final de consumo do SBR, entre os anos de 2010 e 2011:

Figura 3 – Consumo Final de SBR 2010/11



Fonte: Índia, 2012, p. 170

A produção do Butadieno depende de rigorosa operação de craqueamento e também das matérias primas usadas; por exemplo; Gás, Óleo e Nafta, para produção do Etileno, também proporciona altas quantidades de subprodutos de

Butadieno. Petróleo bruto destilado pode ser processado produzindo gás de butadieno similar aos originados da Nafta, gás, óleo (GRISON *et al*, 1984).

O Quadro 2 apresenta uma comparação entre algumas Forças X Fraquezas das borrachas mais comuns:

Quadro 2 – Forças e Fraquezas das Borrachas

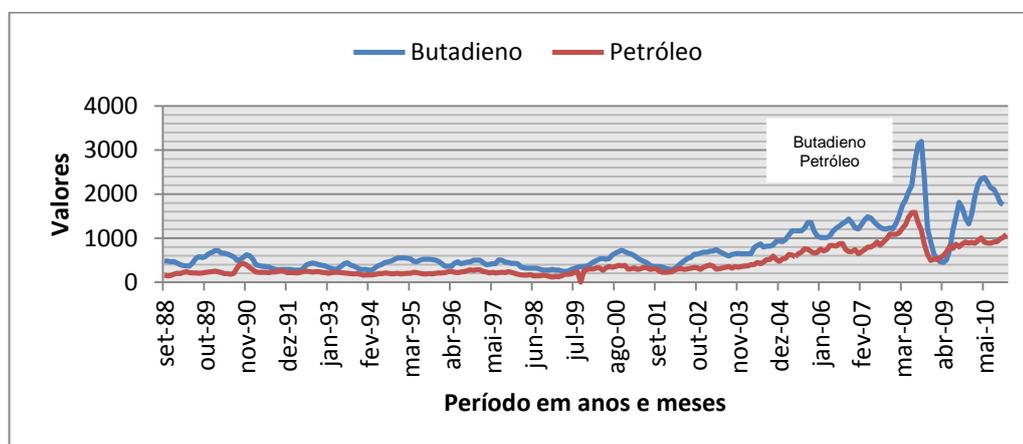
Tipo de borracha	Forças	Fraquezas
<b>Borracha natural</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possui excelente resistência à fadiga e à propagação de fendas;</li> <li>- Apresenta elevada resiliência;</li> <li>- Possui boa deformação residual à compressão;</li> <li>- Apresenta boa resistência à produtos químicos inorgânicos</li> <li>- Possui boa absorção ao choque e excelente impermeabilização.</li> <li>- Possui aderência eficaz a metais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixa resistência a óleos e fluídos orgânicos</li> <li>- Temperatura máxima em até 100°C</li> <li>- Possui baixa resistência à presença de ozônio.</li> </ul>
<b>SBR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apresenta boa resistência física</li> <li>- Possui boa resistência à abrasão e ao rasgamento</li> <li>- Apresenta características de produtos termoplásticos, frente ao aumento do teor de estireno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possui baixa resistência a combustíveis</li> <li>- Baixa resistência a intempéries</li> </ul>
<b>Polibutadieno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apresenta elevada resiliência;</li> <li>- Boa propriedade elástica;</li> <li>- Apresenta maior resistência à fadiga por flexão;</li> <li>- Maior resistência ao envelhecimento;</li> <li>- Maior flexibilidade a baixas temperaturas;</li> <li>- Boa resistência à abrasão;</li> <li>- Apresenta baixa temperatura de transição vítrea (-90°C).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apresenta baixa resistência ao ozônio</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Nagdi (1987)

O butadieno é um gás incolor e aromatizado, utilizado na produção de vários tipos de polímeros e copolímeros, e intermediário na produção de várias substâncias químicas de uso industrial, sendo que mais de 75% da produção em produtos de borracha sintética (CETESB, 2012). Por ser uma das principais *commodities* petroquímicas, e pelas recentes descobertas de seu uso como substitutos imediatos da madeira e aços, o seu crescimento no mercado internacional está em expansão. As novas tecnologias, utilizadas para desenvolverem plásticos e borrachas, apresentam um *boom*, cuja capacidade superou as atuais plantas produtoras, como é o caso da *commodity* em estudo.

Uma das principais aplicações do butadieno é como elastômero ou borracha sintética. Nesta forma é consumida pela indústria de pneus, fabricação de mangueiras industriais, bens de consumo e perfis de carros (GOBBO, 2010). Acredita-se, baseado em dados históricos, que, a *commodity* do butadieno, por ser um derivado do petróleo, sofra influência na variação do preço, que acompanhe a influência das mesmas variáveis da evolução dos preços internacionais deste. É possível perceber através da Figura 4 - Gráfico da evolução da Variação dos preços do Petróleo e butadieno, que este último, é mais sensível às variações do mercado:

Figura 4 - Variação nominal do preço do Petróleo e Butadieno no período entre setembro/1988 e dezembro/2010 (U\$/ton)



Fonte: Resultado da pesquisa

Dentre os diversos processos de obtenção do butadieno, a destilação extrativa é a mais utilizada em todo o mundo. Nesta operação o butadieno é extraído do corrente C<sub>4</sub>, o qual é um subproduto da produção de eteno e propeno. Outro processo também utilizado para a produção do Butadieno é a desidrogenação a partir da conversão do butano em n-buteno através de contínuas desidrogenações, em uma única etapa, utilizando catalizador. Os componentes que não foram convertidos poderão ser reciclados. Há ainda, outro processo, que apesar de ser usado em menor intensidade, por causa dos elevados custos, ainda é utilizada em parte da Europa Oriental. É a partir do etanol, cuja matéria-prima é convertida em Butadieno, hidrogênio e água a elevadas temperaturas, cerca de 400°C, na presença de um catalizador.

Dados do *International Rubber Study Group* - ISRG (2012) informam que o consumo mundial anual de borracha natural e sintética em 2011, foi em torno de

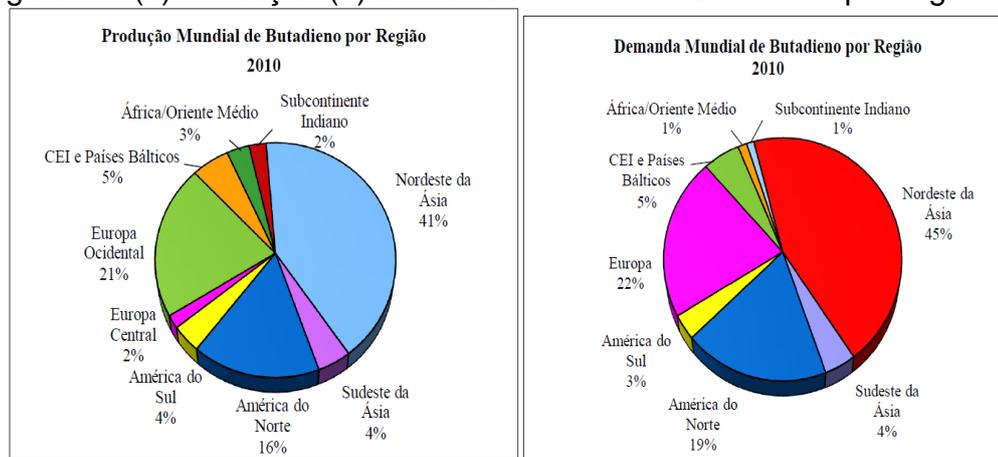
25,9 milhões de toneladas. Isto representa 6% mais que o consumo em 2010. A estimativa da instituição para 2012, é que esta demanda chegue a 27,2 milhões de toneladas. A demanda mundial de borracha sintética em 2011 foi de 14 milhões de toneladas e estima-se que deve chegar a 16 milhões toneladas até 2015 (CMAI, 2011). Isto indica que a demanda pela borracha sintética está em crescimento.

Atualmente a maior produção e consumo do butadieno vem do nordeste da Ásia. É o maior produtor e consumidor de butadieno, responsável por 42% da extração da capacidade mundial e 45% da demanda total. O fornecimento de  $C_4$  na região tende a aumentar à medida que a implantação de novas unidades de craqueamento no Japão e Taiwan, e as novas unidades de extração na China estejam em funcionamento.

A China será o principal consumidor de butadieno e terá um crescimento de 9% ao ano até 2015 (CMAI, 2011), enquanto que na América do Norte com 16% da produção mundial de Butadieno. Por sua vez, a Demanda de butadieno no Nordeste Asiático (45%) é superior à sua produção, seguido da Europa (22%) e América do Norte (19%). No entanto, a capacidade de produção da América do Norte e Europa, já está estabilizada, enquanto que a dos países asiáticos tende a crescer.

A Europa sempre foi grande exportadora de butadieno, sobretudo a República Checa. Sua exportação concentra-se principalmente para a América do Norte, porém, estes excedentes estão previstos para esgotar em função da limitação de suprimento de  $C_4$ :

Figura 5 – (a) Produção (b) Demanda Mundial de Butadieno por regiões



Fonte: CMAI, 2011

Observa-se da Figura 5a e 5b que o mercado de *commodities* tem a Ásia, como a região de maior produção e consumo do butadieno mundial, quase 50%. Seguidos pela Europa e América do Norte. Em contrapartida, os países do subcontinente Indiano e África são aqueles cuja participação é irrelevante no contexto geral.

Para uma melhor compreensão sobre este assunto, é necessário compreender um pouco da origem destes mercados de trocas. As *commodities* são negociadas no mercado de derivativos, esclarecidas na próxima seção.

### **2.1.3 O mercado de *Commodities***

Desde a antiguidade, o mercado de *commodities* é conhecido. Data do ano de 2000 a.C., os primeiros sinais de realização desta prática entre árabes e indianos, que arcavam com os riscos financeiros de longo prazo, entre as datas de compra e entrega da mercadoria. Nestas sociedades eminentemente agrícolas, as principais moedas de troca eram cacau, milho, cevada e amêndoas. Os gregos e romanos, por sua vez, diferente dos primeiros povos, usavam como moeda de troca metais nos idos de 500 a.C., fixando local e data de entrega. Preferiam ainda, que os artigos a serem comercializados, fossem vinho, couro, carne salgada, metais e trigo, pois eram não perecíveis. Posteriormente, os ingleses desenvolveram o uso de amostra-padrão para produtos perecíveis, oferecidos nas feiras (futuras bolsas de mercadorias) onde se comercializavam mercadorias. Assim, já na idade média, asseguravam aos compradores a qualidade do produto. Por fim, em 1570, surge a *Royal Exchange*, a primeira Bolsa de Valores, em Londres (RAICES, 2003).

Atualmente, os mercados de *commodities* estão segmentados. Pereira (2009) afirma que as *commodities* podem ser negociadas em diversos mercados: no mercado a vista, no mercado a termo (ou de balcão), ou nos mercados futuros. A referência mais usada para a definição dos preços das *commodities* são os mercados futuros, que em sua maioria, possui maior liquidez, são mais transparentes e possuem uma divulgação pública dos valores negociados, daí o preço das *commodities* serem ditados pelo mercado internacional.

Derivativos são definidos como instrumentos financeiros cujos valores derivam, ou dependem dos valores de outros ativos, como acontece no mercado de

opções de câmbio, no qual os valores da opção do dólar variam de acordo com o valor do dólar no mercado à vista. Graças à expansão do mercado de capitais, parte dos derivativos é negociada em bolsas como a BM&F (Bolsa de Mercadorias e Futuros) e a BOVESPA (Bolsa de Valores de São Paulo), nas quais se concentram o mercado de derivativos brasileiro (BOVESPA, 2013).

O Mercado a termo é o mais simples mercados de derivativos. Duas partes se comprometem à comprar e vender determinado ativo financeiro em uma data futura. Nele, um investidor compra a termo uma ação, com data previamente agendada, a um preço pré-definido. Por sua vez, na data combinada, a outra parte terá a obrigação de vender o papel, dado que ambas as partes estão vinculadas uma à outra até a liquidação do contrato.

As operações no Mercado Futuro diferem das operações no Mercado a Termo, visto que as partes, de compra e venda, não estão vinculadas. O investidor pode vender um contrato que tenha comprado antes da data do vencimento, tornando este mercado mais líquido. Difere ainda, no que tange ao ajuste diário do valor dos contratos, o que possibilita a liquidação financeira diária de lucros e prejuízos das posições. No Mercado Futuro, as garantias devem ser depositadas pelo investidor, quando a operação é realizada. As principais operações os contratos futuros de 1 (um) dia, que servem para balizar as expectativas quanto ao mercado de juros. Os contratos são negociados para os quatro meses seguintes. Outra operação muito negociada são os contratos de dólar comercial, com vencimentos de até 24 meses, e contratos futuros de índice BOVESPA, que vencem nos meses pares, limitados a 6 parcelas em aberto. Ainda são bastante negociadas com contratos futuros as *commodities* agropecuárias em especial a soja, algodão, boi gordo, café e milho (INFOMONEY, 2013).

#### **2.1.4 Fatores de Formação do Preço das *Commodities***

O entendimento sobre a formação de preços de *commodities* é objeto de inúmeras pesquisas nos estudos de Gestão de Empresas. Os estudos sobre as

possíveis direções destes preços, em sua maioria, têm a finalidade de buscar antecipar informações sobre a formação dos preços, de forma que os participantes do mercado possam dispor de estratégias, com o objetivo de maximizarem o valor esperado do fluxo de caixa em relação aos preços do ativo.

A literatura acadêmica, no que diz respeito às relações entre as variações do preço de *commodities* e a economia em geral tem sido bastante debatida. É ponto de conversão, sob todos os aspectos, a ideia de que a *commodity* do butadieno tem como fator de variação pujante, a variação do preço do petróleo. Então a partir deste ponto, será feito um estudo do petróleo como variável que mais influencia o preço da *commodity*.

A previsão dos preços de um dado ativo depende do estudo de processos estocásticos e de variáveis exógenas, que pode resultar na elaboração de um modelo que venha descrever a trajetória dos preços e que seja ao mesmo tempo parcimonioso. Quando estes estudos se referem à formação de preços no mercado de *commodities*, o investigador se vê diante de um contexto parecido com os estudos aplicados ao mercado de ativos financeiros.

As atividades financeiras em si, estão expostas a alguns fatores, que por muitas vezes impedem a sua previsão ou controle dos preços praticados no mercado. No que tange às *commodities*, a situação não é diferente, visto que há fatores que influenciam direta e indiretamente a flutuação do seu preço, tanto do lado da oferta, como da demanda destas.

No entanto, o mercado de *commodities* possui características únicas, que obrigam o pesquisador/investigador a examinar os processos clássicos de formação de preços, e ponderar sobre conceitos próprios deste mercado. A teoria da estocagem, a teoria de paridade de preços, os preços no mercado de derivativos de *commodities* e as distorções de observação do preço a vista das *commodities* físicas, são exemplos de estudos próprios deste mercado.

O preço a vista das *commodities* depende da geografia onde estas são negociadas. Neles estão inclusos custos de frete, entrega física e armazenagem. Os preços à vista de *commodities* publicados são, portanto, médias dos preços negociados em diversas partes do mundo, podendo haver variações na observação

dessa variável. Indústrias e governos se interessam pela liquidação física dos contratos e entrega dos bens, sem atrasos e a baixos custos de entrega.

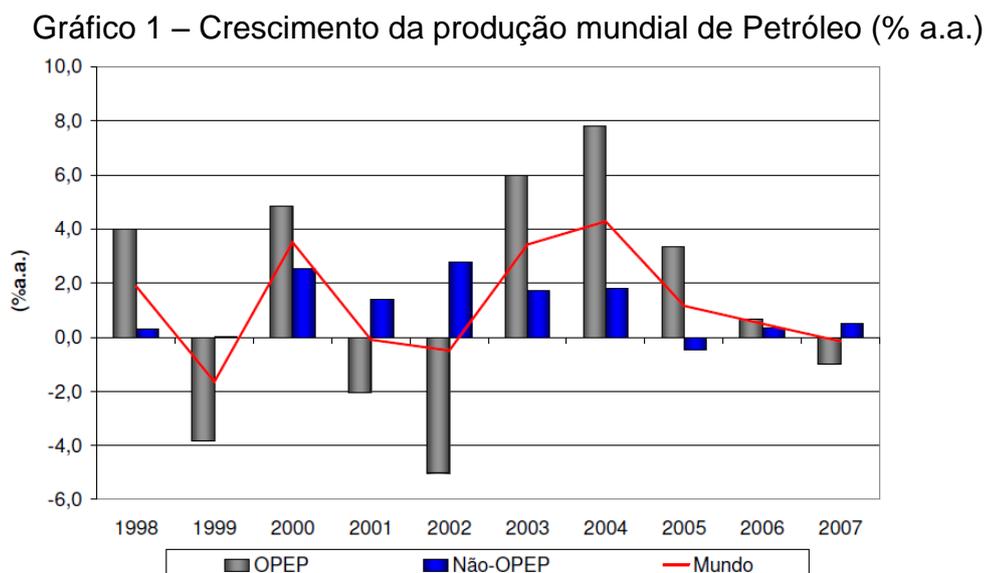
Contudo, devido as grandes distâncias entre produtor e consumidor, é praticamente impossível a liquidação de *commodities* tais como metal, agrícolas ou de energia com entrega em mercados *spot*, obrigando que os contratos sejam feitos para entrega futura ou de liquidação financeira.

Hamilton (1983) foi pioneiro no estudo desta problemática, quando constatou que os choques dos preços do petróleo foram responsáveis, pelo menos parcialmente, por todas as recessões norte-americanas no período pós-2ª Guerra Mundial. Diversas pesquisas empíricas (MORK, 1994; MORK, 1997; HAMILTON, 2003) demonstram que o impacto da variação do preço do petróleo na economia é assimétrico e sugerem que a subida do respectivo preço tem uma influência negativa no Produto Interno Bruto (PIB), por outro lado, as descidas do preço desta *commodity* não levam necessariamente a um resultado positivo no PIB ou, pelo menos, na mesma magnitude.

Sob o ponto de vista da oferta, de acordo com o Relatório do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2008), dentre os fatores que mais influenciam no preço da *commodity* estão: a) A defasagem no aproveitamento de recursos petrolífero; b) As altas dos custos de Exploração e Produção (E&P) do petróleo; c) A questão geopolítica. Observa-se no Cenário mundial, que a produção total de petróleo não tem revelado o mesmo dinamismo da demanda. Entre os diversos motivos para que isto ocorra, os principais são:

“i) o declínio de várias regiões consideradas maduras fora da OPEP, como o Mar do Norte (Reino Unido e Noruega), os EUA e o México; ii) o baixo ritmo do desenvolvimento e operação de novas áreas de fronteira, como o Mar Cáspio e a Costa Oeste Africana, e/ou da recuperação de áreas produtoras como a Rússia e o Iraque; iii) a alta dos custos de E&P; iv) a modificação da estratégia de mercado e de investimento da OPEP, que tem expandido marginalmente sua capacidade de produção; e, v) ocorrência de tensões sociais e interrupções operacionais reduzindo a produção e investimentos em importantes países produtores como a Venezuela, que ainda não recuperou o patamar de produção anterior ao da greve geral de 2003, e Nigéria, que tem sofrido interrupções operacionais devido à tumultos sociais, atentados e sabotagens às instalações” (BRASIL, 2008).

Diante deste Quadro, no que tange à defasagem no aproveitamento de recursos petrolífero, observam-se as características que envolvem a formação do Preço das *Commodities*. Neste aspecto, a expansão da produção mundial de petróleo apresenta-se notoriamente menor que o potente crescimento da demanda, como mostra o Gráfico 1:



Fonte: *British Petroleum*, 2008

No período entre 2003 e 2007, houve uma retração da produção mundial de petróleo. Essa retração foi motivada pelo declínio da produção de regiões maduras, pela expansão aquém do esperado em regiões de fronteira em países Não-OPEP (países que não fazem parte da OPEP) e em países da OPEP. A taxa de crescimento da produção Não-OPEP no mesmo período foi de 0,6% a.a., sendo verificado o declínio da produção em vários países produtores relevantes: Reino Unido (-7,7% a.a.), Noruega (-5,9% a.a.), México (-2,1% a.a.) e EUA (-1,8% a.a.) (BRITISH PETROLEUM, 2008).

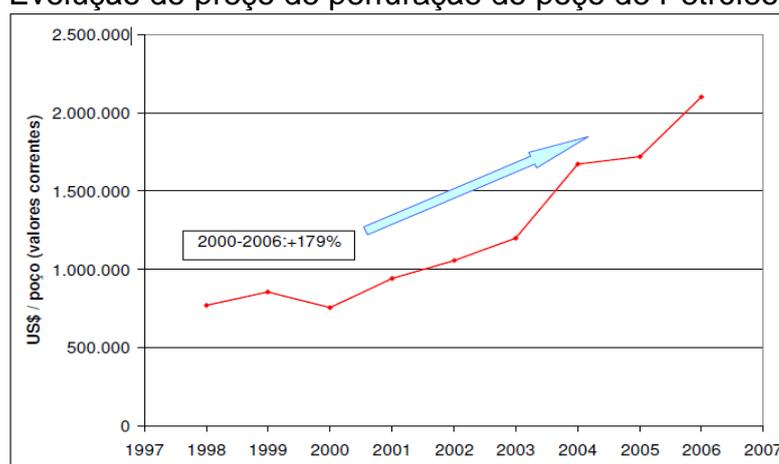
Outro fator que é considerado um fator fundamental para Formação do Preço das *Commodities* são as altas dos custos de Exploração e Produção (E&P) do petróleo que também tem pressionado os preços internacionais do petróleo, à medida que eleva o piso requerido das cotações para que a oferta incremental possa atender a demanda. No entanto, isto só acontece porque a demanda tem se apresentado pouco sensível aos preços, pois, do contrário, a alta dos custos de E&P seria totalmente absorvida pela margem do produtor, ao invés de ser repassada à

demanda, e a necessidade de oferta incremental seria menor, graças à “destruição de demanda” pelos altos preços.

Há dois pontos impulsionadores na alta dos custos de E&P. Primeiro, a elevação do patamar de preços do petróleo catalisou as atividades de E&P em vários países, aumentando a procura por sondas, equipamentos, embarcações, plataformas e mão de obra qualificada.

Este aquecimento do mercado fornecedor de bens e serviços para a indústria do petróleo pressionou significativamente os custos de E&P. Os norte-americanos, por exemplo, tiveram os custos médios de perfuração de poços de petróleo, gás natural e seco, elevados em até 179% entre 2000 e 2006, apontado no Gráfico 2, em valores correntes.

Gráfico 2 – Evolução do preço de perfuração do poço de Petróleo



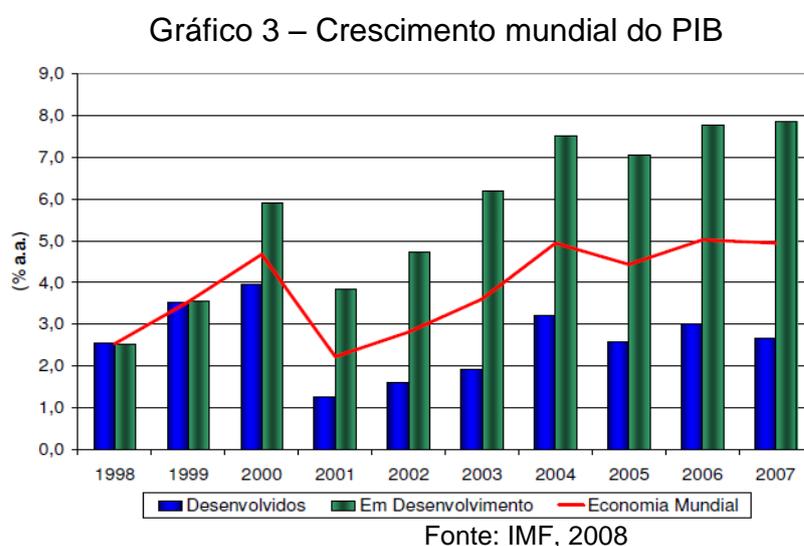
Fonte: EIA, 2007

Pode-se também considerar a questão geopolítica como outro fator fundamental na elevação ou diminuição do preço. A questão geopolítica torna-se um dos elementos fundamentais da produção mundial de petróleo. Após um período em que o petróleo era visto como “uma *commodity* comum”, fruto de uma dinâmica de mercado balanceada, os aspectos geopolíticos recuperaram sua relevância na determinação dos preços de petróleo, dado que este fator é o um dos principais balizadores do preço.

Por sua vez, no que tange à demanda, ainda sob o olhar do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2008), os principais fatores são: a) O crescimento econômico e b) Os preços do petróleo.

O crescimento econômico deve-se ao fato de o aumento quantitativo da economia se traduz em maior produção industrial, e conseqüentemente da oferta leva a uma aquisição maior movimentação de cargas, à maior mobilidade de pessoas em veículos privados e coletivos (aviões, trens, navios, ônibus), e tantas outras atividades que ‘puxam’ para cima o consumo dos derivados de petróleo.

Esta demanda crescente tem sido estimulada pelo crescimento econômico mundial. Os países com acentuado desenvolvimento econômicos são a China, Índia e os países do Oriente Médio (vide Gráfico 3):



Entre 1998 e 2007, o crescimento do PIB mundial esteve em torno de 4% ao ano, enquanto dos países desenvolvidos a taxa média foi de 2,6% ao ano e dos países em desenvolvimento de 6% ao ano. Nos Estados Unidos, antes da crise das hipotecas de segunda linha (sub-prime), os EUA, durante os anos de 2003 a 2006, tiveram um forte crescimento econômico. No entanto, após este fato, a economia norte-americana desacelerou a atividade econômica, e conseqüentemente o consumo de petróleo.

Outro fator que tem contribuído para manter o elevado patamar de preços do petróleo é a significativa resistência da demanda à alta recente dos preços. A inércia estrutural e a estreita capacidade de substituição de derivados de petróleo e de adoção de equipamentos, processos, veículos e modais com maior eficiência energética no curto e no médio prazo sempre conferiram à demanda por petróleo uma baixa elasticidade-preço. Entretanto, a patamares tão elevados de preços,

esperava-se que a demanda por petróleo se mostrasse mais sensível do que tem se revelado no último decênio. O importante, portanto, é discutir os motivos que explicam a maior resistência da demanda mundial aos preços do petróleo. E, portanto, necessário se faz, acompanhar os modelos de previsão de preço das *commodities*.

### **2.1.5 Modelos de previsão de preços de *commodities***

A preocupação com a previsão de preços das *commodities* data de tempos remotos. Objetivando dar uma visão ampliada de como estes trabalhos se desenvolveram nos últimos anos, traçando alguns comentários e críticas, busca-se elaborar um panorama geral dos modelos desenvolvidos, de forma a apresentar as oportunidades de pesquisa para este trabalho.

Na década de 80, do século XX, observa-se o desenvolvimento do primeiro Modelo de previsão, cujo cerne foi englobar em uma única classe de modelos, e baseado na ideia de uma série temporal não-estacionária. O método busca uma representação do processo estocástico gerador da série temporal a partir do método ARMA (Modelo Regressivo de Médias Móveis) Em 1982, Engle desenvolveu um modelo paramétrico, cujo pressuposto era esquematizar um modelo para previsão da inflação, tendo propriedades úteis para a análise dos dados de finanças.

No entanto, o estudo considerado um marco em relação à modelagem de preços em *commodities* agrícolas, com base em processos estocásticos de preços, foi o desenvolvido por Brennan e Schwartz (1985), que apresentaram um modelo de um único fator estocástico para prever o preço futuro da *commodity* cobre: o preço à vista.

Os autores investigam o valor, o gerenciamento e otimizam o 'instante' de investir em um projeto de desenvolvimento de uma mina de cobre. Pouco depois Fama e French (1987) desenvolvem o primeiro dos modelos guiados por mais de um fator para preços de *commodities*. Baseados na Teoria do Estoque, os autores desenvolveram uma pesquisa com 21 *commodities*, de modo a identificar alguns elementos que influenciavam nos preços futuros. Primeiramente os autores

determinaram uma equação linear na qual a dependente “preços futuros” era função dos preços a vista mais uma determinada taxa de juros e de variável *dummy*. Assim, identificaram se o produto possuía ou não sazonalidade. Posteriormente, os autores estabeleceram outra equação linear cuja variável dependente “preços de contratos futuros” era resultados da função dos preços a vista e “prêmio pela expectativa de variação no tempo”. Segundo os autores, o modelo mostrou baixa capacidade de previsão.

A partir daí, já no início dos anos 90, Gibson e Schwartz (1990) desenvolveram um modelo de dois fatores para projeção dos preços de contratos futuros da *commodity* petróleo. Os autores informam que os resultados mostraram que o retorno de conveniência tem a tendência de reverter para a sua média de longo prazo, sendo a variável de estado de maior volatilidade, enquanto o preço à vista é menos volátil e sua evolução assemelha-se a um passeio aleatório. O modelo também foi capaz de mostrar a diferença entre a volatilidade dos preços à vista e aquela dos contratos futuros, evidenciando que quanto maior a maturidade menor a volatilidade.

Em 1993, um novo horizonte se mostrava. Day e Lewis (1993) comparam previsões da volatilidade do preço do petróleo utilizando os modelos Garch e Egarch.

Em um estudo sobre equilíbrio de preços de ativos, Bessembinder *et al* (1995) mostraram um resultado insatisfatório para a previsão de preços, utilizando petróleo, produtos agrícolas e metais. Em 1995, Duffie e Gray, usando *commodities* como gás natural, petróleo e *heating oil*, perceberam melhoria nas projeções dentro e fora da amostras a partir da volatilidade implícita, utilizando os métodos GARCH (1,1), EGARCH (1,1), e GARCH bivariado. Victor e Pirrong (1996), também utilizando modelos da família GARCH, constataram que 96% da variação na volatilidade condicional é explicada pela variação no *spread* entre preços à vista e futuros conhecida como base.

Em 1997, Schwartz, utilizando o Filtro de Kalman, analisou o comportamento estocástico dos preços das *commodities*. Investigou o desempenho de três modelos distintos. O primeiro modelo usando logaritmo do preço à vista, o segundo

considerando os fatores: preço à vista e retorno de conveniência e o terceiro modelo de três fatores agrega ao segundo a taxa de juros como variável estocástica. Segundo o autor, nos três casos, os modelos apresentaram desempenhos fracos. Schwartz explica que a principal dificuldade na aplicação empírica dos modelos de preços de *commodities* é que, frequentemente, as variáveis de estado, tais como o preço à vista, por exemplo, não são diretamente observáveis.

Utilizando modelos autorregressivos, Ntungo e Boyd (1998) estudaram o desempenho de modelos ARIMA e de Redes Neurais em estratégias de negociação nos mercados futuros de milho, prata e marco alemão. Os resultados foram equivalentes em termos de retornos financeiros para os dois modelos, com resultados positivos nos mercados de milho e prata.

Por sua vez, ao considerar a analogia existente entre o comportamento de séries históricas de preços de *commodities* e o comportamento de outros ativos financeiros, destacaram-se as pesquisas sobre risco e volatilidade de séries históricas desenvolvidas, de Alexander (1998; 1999). Em trabalho publicado no ano de 1998, o autor faz uma retrospectiva das metodologias utilizadas para análise do risco e volatilidade de comportamento de preços, no qual avalia os métodos de estimação por correlação entre séries e metodologia de modelagem com base em modelos de integração GARCH.

Nesse contexto, no ano de 2000, Routledge, Seppi e Spatt (2000), estudando um modelo microeconômico de equilíbrio em mercados financeiros, incorporaram oferta, demanda e estoques. Perceberam que a volatilidade aumenta à medida que se aproxima a data de vencimento. Em seguida, Schwartz e Smith (2000) propuseram um modelo que usa máxima verossimilhança e métodos dos mínimos quadrados não-linear em um modelo de dois fatores, um fator de curto prazo; modelado por um processo de reversão à média e um fator de longo prazo modelado por um movimento browniano geométrico, que permitiu a reversão para a média dos preços de curto prazo e incerteza no nível de equilíbrio dos preços que reverter. Embora esses dois fatores não fossem diretamente observáveis, poderia ser estimado a partir da descrição do uso dos preços *spot* das *commodities* como uma soma dos desvios de curto prazo sobre o padrão em longo prazo. Além disso, os autores implementaram o modelo com dados dos contratos futuros de petróleo.

Os resultados mostraram aderência para os dados empíricos no curto e longo prazos. Pindick (2004) usando gás natural e petróleo demonstrou que os choques tem pouca persistência, e afetam principalmente as posições especulativas em curto prazo, não exercendo efeitos sobre as decisões em longo prazo em ativos reais.

Ampliando este vasto panorama, Aiube *et al* (2006) propõem uma extensão do modelo de Schwartz e Smith (2000), incorporando saltos nas variações de curto prazo para analisar os preços da *commodity* petróleo, utilizando modelo de 3 fatores. Observaram que o petróleo apresenta um comportamento transitório, e que não houve aumento na volatilidade condicional. Chicralla (2006) apresentou algumas alternativas de previsão do preço futuro do aço a partir do emprego de modelos de previsão autorregressivos (ARIMA e VAR). Estes modelos foram definidos em função da análise do comportamento, no longo prazo, entre as séries de preços do aço no Brasil vis-à-vis seus respectivos preços no exterior. O modelo VAR gerou previsões melhores do que o modelo ARIMA.

Cifarelli *et al* (2009) avaliaram empiricamente a dinâmica da especulação do preço do petróleo, utilizando o modelo GARCH-M, encontraram fortes indícios de que as mudanças do preço do petróleo está negativamente relacionada ao preço das ações e ao intercâmbio das alterações da taxa e que uma complexa teia de variáveis no tempo primeira e segunda ordem interações momento condicional afeta tanto os componentes do CAPM e feedback comercial do modelo.

Em que pesem o volume de estudos desenvolvidos com a finalidade de previsão de preços das *commodities*, supracitados, Demo (1995) aponta que não há um único modelo validado ou teoria capaz de prever o preço das *commodities*. Quanto aos modelos de previsão voltados à previsão do preço do petróleo, o Quadro 3 sintetiza os principais modelos e resultados obtidos pelos autores:

**Quadro 3 - Modelos de previsão de preços da commodity de Petróleo**

ANO	AUTORES	COMMODITIES	MODELOS E METODOLOGIAS	RESULTADOS
1987	Amano	Petróleo	Relatório	Desenvolve um relatório anual, o modelo de pequena escala econométrica do mercado mundial de petróleo. Resultados baixos
1990	Gibson e Schwartz	Petróleo	Modelo de 2 fatores	Os resultados mostraram que o retorno de conveniência tem a tendência de reverter para a sua média de longo prazo.
1991	Abramson e Finizza	Petróleo		Utilizam redes de crença para a previsão dos preços do petróleo.
1995	Bessembinder <i>et. al.</i>	Petróleo, produtos agrícolas, metais etc.	Equilíbrio de Preços de Ativos	Resultado insatisfatório para uma previsão de preços.
1997	Schwartz	Cobre, petróleo e ouro	Modelos de 1, 2 e 3 fatores: Filtro de Kalman	Os modelos possuem fracos desempenhos.
2000	Schwartz e Smith	Várias commodities, entre elas o petróleo	Modelo de 2 fatores: Filtro de Kalman	Aderência para os dados empíricos no curto e longo prazos.
2001	Morana	Petróleo	GARCH	Prevê a distribuição dos preços do petróleo ao longo do horizonte de curto prazo.
2001	Sadorsky	Petróleo	Modelo multifatorial com dados mensais	As variações positivas da rentabilidade do mercado e do preço do cru têm um efeito positivo sobre o preço das ações daquela empresa
2002	Tang e Hammoudeh	Petróleo		Exploram o preço mundial do petróleo sob o modelo de zona-alvo
2004	Mirmirani e Li	Petróleo	Rede Neural com algoritmo genético	Aplicam VAR e técnicas de RNA para fazer pós-ex previsão da evolução dos preços do petróleo EUA.
2006	Aiube <i>et al</i>	Petróleo	Modelo de 3 fatores: Filtro de Partículas	A inclusão dos saltos explica melhor a estrutura dos preços, porém não se chegou a uma validação do modelo.
2006	Fan <i>et al</i>	Petróleo	Modelo generalizado baseado em algoritmo genético (GPMGA),	Utilizado para previsão dos preços futuros do petróleo bruto com base em observações históricas.
2006	Sadorsky	Petróleo	Modelo e previsão	Utiliza diversos modelos estatísticos univariada e multivariada para previsão de volatilidade futuros
2007	Boyer e Fillion	Petróleo e Gás Natural	5 fatores: rentabilidade, taxa de juros, taxa de câmbio, variações de preço do petróleo e do	Os resultados obtidos demonstram que a rentabilidade das ações do setor em análise está positivamente relacionada com a rentabilidade de mercado e as variações do preço do petróleo e gás natural.

			Gás Natural	
2007	Narayan e Narayan	Petróleo	GARCH	Usam o modelo generalizado auto-regres-sivo de heterocedasticidade condicional
2009	Vanak Sq. <i>et al</i>	Petróleo	algoritmo de filtragem de dados é utilizado.	Preços diário do petróleo WTI são usados como um estudo empírico. Desempenhos razoáveis.
2009	Murat e Tokat	Petróleo	Passeio aleatório (VM)	Prever os movimentos do preço do petróleo
2009	Kang <i>et al.</i>	Petróleo	Modelos CGARCH e FIGARCH	Previsão de volatilidade dos mercados de petróleo bruto.
2011	Baumeister Lilian	Petróleo	AR, ARMA, e Modelos VAR	Previsão Var são mais precisos em curto prazo

Fonte: Adaptado de Ghaffari, Zari (2009)

Diante deste Cenário, em que se apresentam inúmeros modelos de previsão, observa-se que de um modo geral, os modelos já propostos, apresentam limitações quanto à acurácia da previsão dos preços das *commodities*. Na literatura, pouco se encontra sobre a utilização de Redes Bayesianas como técnica para previsão de *commodities*, e é este *gap* que este trabalho busca sanar. Assim, destaca-se a necessidade de explorar a dualidade entre risco e incerteza com o objetivo de monitorar as flutuações dos preços e fazer previsões, a partir da teoria e considerando a análise do comportamento da *commodity*, que será estudado na seção seguinte.

## 2.2 Dualidade entre risco e incerteza

No atual Cenário de mudanças, o conhecimento dos riscos determina o aprimoramento dos aspectos relacionados à decisão, com a definição de fatores-chave de sucesso, que podem ser utilizados pelas empresas e agentes a fim de vencer em ambiente competitivo e contrário. Muitos são os conceitos estudados na literatura, sobre a Análise de Riscos e afins. Nesta pesquisa, será utilizado o conceito da Economia.

A palavra risco pode ter várias origens: Francês *Risque*, do Italiano *Risco* ou *Rischio*, “o perigo ligado a um atividade”, do Latim *Risicum*, às vezes tida como “escolho que pode fender o casco de uma embarcação”, mas mais provavelmente do Grego bizantino *Rizikon*, “soldo obtido por um mercenário”, derivado do Árabe *Rizq*, “ração diária (dicionário on line, 2013). Porém, o mais provável, é que tenha origem no italiano antigo *RISICARE*, cujo significado é “ousar”, ou seja, não é um acaso, e sim uma opção (BERNSTEIN, 1997). Segundo o autor, a capacidade de gerir riscos, e optar ousadamente, são a mola propulsora que impulsiona o sistema econômico, passível de mensuração, e com possibilidades de avaliar suas consequências, e geri-lo de forma a reduzir seus impactos negativos.

Por sua vez, Bessis (1998) define riscos, como impactos adversos à lucratividade causados por fontes diversas de incertezas. O risco é a variável de retorno que está diretamente ligado ao resultado das empresas, por isso é sempre

objeto de estudos acadêmicos ou não. Como não é possível eliminar esta variável, o ideal é minimizar as perdas, de modo que fiquem num patamar aceitável, e maximizar os resultados.

O risco é ainda definido como a volatilidade de resultados inesperados, que podem estar relacionados ao valor de ativos ou passivos de interesse. É direcionado para empresas que estão expostas a três tipos de risco: Operacional, Estratégico e Financeiro. Os Riscos denominados Operacionais, são os que estão voltados à economia, são aqueles riscos assumidos voluntariamente por uma empresa, cuja finalidade é criar vantagem competitiva e buscar a valorização diante dos acionistas (JORION, 1997).

Os Riscos Estratégicos são originados por mudanças no Cenário econômico ou político de um determinado país. Nesta categoria estão incluídas a expropriação e a nacionalização, como outrora já aconteceu no país, no período pré-Regime Militar (1964), ou mais recentemente, quando o presidente da Bolívia nacionalizou a Petrobrás. Por sua vez, os riscos financeiros estão ligados às possíveis perdas no mercado financeiro, graças às oscilações e à volatilidade de variáveis com taxas de juros e taxas de câmbio. Um maior conhecimento dos meandros em que o mercado financeiro está inserido permite que os gestores formulem estratégias mais próximas da realidade que os cercam e desta forma possa proteger a empresa de um resultado adverso.

Bernstein (1997) considera que o cerne da administração do risco está em maximizar as áreas onde é possível certo controle sobre os resultados minimizando aquelas onde não se tem absolutamente nenhum controle sobre o resultado e onde o vínculo entre efeito e causa está oculto. Nesse contexto, observa-se que administrar riscos é necessidade de qualquer empresa para manter-se competitiva frente à acirrada concorrência que o mercado apresenta. O colapso operacional de uma empresa pode causar prejuízos desastrosos em relação ao nível de serviço logístico proporcionado aos clientes.

Por sua vez, a incerteza, segundo a *Directiva Comunitária 2007/589/CE*, é definida como: o parâmetro associado ao resultado da determinação de uma quantidade, que caracteriza a dispersão de valores que poderia razoavelmente ser

atribuídos a essa determinada quantidade, expressos em percentagem e que descrevem um intervalo de confiança próximo do valor médio compreendendo 95% dos valores inferidos (CE, 2007).

As incertezas referem-se a um misto de risco, conhecimento, desconhecimento e reflexividade, logo, um novo tipo de risco (BECK, 2006). Enquanto o risco está relacionado a uma quantidade mensurável, a incerteza restringe-se a situações que não podem ser medidas quantitativamente. Knight (1921) define risco quando os resultados possíveis são representados por uma distribuição de probabilidades. Já a incerteza, equivale a um risco em potencial, quando a probabilidade do resultado não é conhecida.

Uma atividade considerada arriscada, incerta ou indeterminada, pode, à medida que os conhecimentos científicos se consolidem, migrar gradativamente para uma atividade não-arriscada (KNIGHT, 2007). Por outro lado, a incerteza refere-se ao caráter aleatório, hipotético do risco e de suas consequências.

Nas diversas áreas do conhecimento, o termo assume definições distinta. Por exemplo, é robusta a distinção na economia e na área da saúde entre os termos. Na saúde, especialmente na pública, incerteza é a condição sob a qual não se tem a necessária informação para atribuir probabilidades para os resultados, dificultando a definição do problema e a identificação de soluções alternativas. Ou seja, incerteza é a ignorância parcial ou falta de informações perfeitas sobre fenômenos ou modelos mal caracterizados, sendo de essencial importância a figura do analista de risco, redutível por meio de medidas e estudos adicionais. Já na área jurídica e sociológica, a compreensão, a linha que define cada termo é tênue. Para a área jurídica, incerteza é vista como critério fundamental ao risco, incluindo a possibilidade de ocorrência, ou não de um evento danoso.

Diante de tantas definições e expressões a respeito desse tema, e buscando harmonizar e estabelecer critérios e procedimentos relacionados ao termo, a *International Organization for Standardization (ISO)*, elaborou o *Guide to Expression of Uncertainty Measurement*, adotado pelo Inmetro (ABNT/INMETRO, 2003). Para o Guia, o termo incerteza é sinônimo de dúvida e refere-se tanto ao conceito geral de incerteza como a qualquer uma, ou a todas as medidas quantitativas deste conceito.

De posse deste leque de conceitos, é possível fazer uso de uma ferramenta para o gerenciamento dos riscos e incertezas, através da análise de Cenários, tema do próximo item.

### **2.2.1 Estudo de Cenários**

A Análise de Cenários é uma ferramenta muito utilizada quando a proposta é o gerenciamento estratégico dos riscos. A partir de Cenários propostos, é possível fazer previsões em curto, médio e longo prazo, de modo a maximizar os rendimentos financeiros e a minimização das exposições totais aos riscos. O uso desta ferramenta de 'Cenários futuros' está cada dia mais inserida nas agências de inteligência, civil e militar, de empresas com gestão estratégica e ainda no campo acadêmico como economia, marketing e finanças. O ambiente de investimentos financeiros é um ambiente dinâmico e interligado a diversos outros domínios: econômicos, tecnológicos e políticos (POLESI, 2006). Salienta ainda, que a tarefa de pensar no futuro dos negócios torna-se extremamente complexo e desafiador, sendo, portanto necessário delimitar as ações futuras de forma correta buscando maximizar o grau de acertos nas estratégias previamente adotadas.

A elaboração de Cenários não é um exercício exclusivo de predição, mas de um diligente empenho na busca de descrições plausíveis e consistentes de vindouras situações possíveis, apresentando as condicionantes do caminho entre a situação atual e cada Cenário futuro, destacando os fatores relevantes às decisões que precisam ser tomadas. Ainda que este Cenário proposto seja parcial, é compreendido como instrumento de apoio à decisão, e deve envolver as variáveis mais acentuadas da situação, eliminando as situações passadas, focando em Cenários futuros que estejam nos limites do conhecimento científico, e propondo transformações viáveis no período de tempo estimado.

Cenários são esboços parciais e consistentes do que o futuro poderá vir a ser, e tem como principais funções a avaliação explícita de premissas de planejamento, o apoio à formulação de objetivos e estratégias, a avaliação de alternativas, o

estímulo à criatividade e a preparação para enfrentar discontinuidades (PORTER, 1986). Estes Cenários são visões internas de alguns aspectos do mundo futuro. No entanto, a estruturação dos mesmos pode variar desde formas puramente narrativas até modelos quantitativos. Porter (1991) destaca que os aspectos enfatizados devem ser essencialmente aqueles que possuem relevância para o prognóstico desejado.

Por sua vez, Godet (1993) admite que um Cenário, é um conjunto formado pela descrição detalhada de uma situação futura, incluindo a ação dos principais atores e a probabilidade estimada de eventos incertos, articulados de tal forma a descrever a passagem da situação de origem para uma situação em um momento futuro de forma coerente. Diante disto, fica mais fácil planejar. Imaginando Cenários futuros, podem-se identificar tendências antes observadas e construir futuros previstos, que orientem as direções corretas a ser tomada, de forma a reduzir a incerteza (SCHOEMAKER, 1995).

Além disso, o planejamento por Cenários avalia a qualidade das decisões e a compreensão de suas implicações para a estratégia competitiva das organizações, de forma mais segura de tal forma que corrija os rumos desagradáveis e, principalmente onerosos. Destarte, os Cenários alternativos permitem mapear caminhos diferentes, onde se deve considerar o que se sabe sobre o futuro unindo com o que se pondera por incerto ou, até mesmo, aparentemente inatingível no prazo pré-determinado. Desta forma, o planejamento baseado em Cenários gera menos risco, no entanto, faz-se necessário gerenciar este risco na logística. É o que será discutido no item a seguir.

### **2.2.2 Gerenciamento de risco na logística**

Para Wilding (1998); Koufteros *et al.* (2002); Childerhouse *et al.* (2003); Harlanda *et al.* (2003); Sheffi e Rice (2003); Barnes e Oloruntoba (2005) e Peck (2005) as ameaças cada vez mais iminentes de riscos de rupturas nos processos que envolvem toda a operação das empresas, tanto a nível interno como externo,

fez com que as empresas percebessem a importância de avaliar e gerenciar os riscos de forma holística. Porém, mesmo identificando os riscos, muitas das empresas acabam não tomando as ações necessárias para contingenciar os mesmos.

Vale ressaltar que muitas vezes a aplicação de estratégias de risco acaba sendo muito onerosa e, algumas vezes, não diminuem o índice de rupturas fazendo com que as empresas não adotem as medidas de contingência. Além disso, a falta de recursos e pessoal qualificado para o desenvolvimento de planos de contingência que possam amenizar os riscos e as incertezas é um fator importante na decisão de adotar o gerenciamento de risco (TAYLOR, 2005).

Day *et al.* (1999), apontam que para atender as demandas de um ambiente cada vez mais complexo e dinâmico, as empresas precisam de novas ferramentas e perspectivas. Novas teorias podem ajudar os gerentes a entender e prever melhor os desafios competitivos.

Para ter sucesso no futuro, as empresas devem desenvolver os recursos e as capacidades necessárias para ganhar ou sustentar vantagem no ambiente competitivo e complexo emergente (ELLRAM, 1991; SRINIVASAN *et al.*, 1994; Porter e Stern, 2001). Este ambiente é, também, formado por clientes com os mais variados estilos e necessidades, buscando serviços diferenciados e que atendam suas expectativas de forma precisa e imediata (ELLINGER *et al.*, 1997). A gestão estratégica de riscos e vulnerabilidades na logística pode permitir, muitas vezes, que a empresa crie vantagem competitiva (COPELAND, 2001).

Uma indústria pode ganhar vantagem competitiva, por exemplo, ao dispor-se a assumir riscos de mercado inerentes às transações com seus fornecedores e clientes. Riscos estes que, normalmente, a maioria dessas indústrias procura transferir a parceiros de negócio. A agregação de exposições lhe confere escala para administrar dos riscos ativamente e com menores custos. Bernstein (1997) defende que para a gestão de risco, a informação é um ingrediente necessário e importante no processo de tomada racional de decisões e quanto maior o número de informações disponíveis e confiáveis, melhor será o enfrentamento dos riscos que se

apresentam. A tarefa da gestão dos riscos e vulnerabilidades é de descobrir métodos para amortecer o impacto do inesperado reduzindo a incerteza.

Ainda, Bernstein (1997), considera que a essência da gestão dos riscos está em maximizarem-se as áreas onde se tem certo controle sobre os resultados enquanto minimizam-se as áreas onde não se tem absolutamente nenhum controle sobre o resultado e onde o vínculo entre causa e efeito está oculto.

Para Norman e Jansson (2004) o objetivo da criação de estratégias para o gerenciamento do risco, não é minimizar os riscos e vulnerabilidades, mas sim, encontrar o nível eficiente de risco e prevenção que atenda aos objetivos financeiros da empresa.

Nesse contexto, percebe-se que gestão dos riscos e das vulnerabilidades são necessidades de qualquer empresa para manter-se competitiva frente à acirrada concorrência que o mercado apresenta. O colapso operacional pode causar prejuízos desastrosos em relação ao nível de serviço logístico proporcionado aos clientes e a rentabilidade esperada pela empresa.

Portanto, faz-se necessário o uso de ferramentas capazes de auxiliar nessa gestão de riscos, de modo a evitar perdas calculáveis, e que possam diminuir a vulnerabilidade das previsões. A seguir, apresentam-se a segunda parte deste referencial teórico, envolvendo as Teorias da Probabilidade Bayesiana e as Redes Bayesianas em si.

### **2.3 Teoria da Probabilidade Bayesiana**

Neste item, será revisado a Teoria da Probabilidade Bayesiana. Segundo Aguiar e Borenstein (2012), a partir do método de pesquisa bibliográfica, é possível demonstrar que um modelo de precificação baseado em RB tem a capacidade de representar os fenômenos aleatórios que caracterizam a formação de preços de uma *commodity*, através da realização de previsões adequadas. A utilização deste tipo de metodologia apresenta a vantagem de compreender a relação causa e efeito através da análise de Cenários.

Esta segunda parte está estruturada da seguinte maneira: Introdução dos conceitos probabilísticos básicos para maior compreensão destes termos técnicos. A partir daí, a metodologia de Redes Bayesianas é apresentada e desenvolvida de forma informativa e detalhada nos tópicos em se julgou necessário; e só então será exposta essa construção em detalhes e uma explicação minuciosa do seu treinamento.

### **2.3.1 Conceitos de Probabilidade**

O cálculo de probabilidades teve origem na Idade Média, motivado por estudos de jogos de azar. E sofreu um forte avanço em meados do século XVII com os trabalhos de Blaise Pascal (1623 – 1662) e Pierre de Fermat (1601 – 1665) sobre jogos de dados e moedas.

Nos dias atuais a probabilidade é uma teoria sólida e rigorosa, cujo formalismo é resultado da Teoria da Medida, além disso, é totalmente aplicável e vem sendo utilizada em diversas áreas do conhecimento. Em um mundo envolto pela incerteza, esta teoria, tem papel fundamental e vêm auxiliando na tomada de decisão e previsão de diversos fenômenos.

As probabilidades condicionais, isto é, a probabilidade de eventos que dependem de eventos que já ocorreram foram estudadas pelo matemático Thomas Bayes (1702 – 1761). E é este conhecimento probabilístico que se necessita para a compreensão dos tópicos que sucedem nesta pesquisa.

#### **2.3.1.1 Probabilidade Básica**

Segundo Costa Neto e Cymbalista (2006) probabilidade é o número que mede a maior ou menor possibilidade de ocorrência de diversos eventos. Existe uma discussão muito grande acerca de como se deve definir probabilidade, porém, a definição axiomática, mais aceita atualmente, foi dada por Kolmogorov em 1993, o qual considera que a probabilidade é uma função definida em uma classe  $\mathcal{A}$  de

eventos do espaço amostral  $\Omega$  (é um conjunto que contém todas as possibilidades de um experimento) tal que:

$$(a) \mathbb{P}(A) \geq 0, \forall A \in \mathcal{A} \quad (1)$$

Lê-se:

A probabilidade do evento  $A$  ocorrer é maior ou igual à zero para todo evento  $A$  que pertence ao conjunto de eventos  $\mathcal{A}$ .

$$(b) \mathbb{P} \left( \bigcup_{i=1}^n A_i \right) = \sum_{i=1}^n \mathbb{P}(A_i) \quad (2)$$

Qualquer que seja a sequência de eventos  $(A_n)_{n \geq 0}$  disjuntos que pertença ao conjunto de eventos  $\mathcal{A}$ .

Lê-se:

A probabilidade de ocorrer qualquer dos eventos disjuntos  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  é igual à somatória da probabilidade de ocorrência de cada um dos eventos.

$$(c) \mathbb{P}(\Omega) = 1 \quad (3)$$

A probabilidade de ocorrer o espaço amostral, é 1. Isto é, existe 100% de chances de ocorrer. A partir desta definição originam-se diversas propriedades, que não serão estudadas detalhadamente neste trabalho. Aqui, serão apresentadas, sem demonstrações, apenas aquelas que serão necessárias para o entendimento dos tópicos subsequentes. A seguir, cada propriedade será ilustrada por diagramas nos quais se podem interpretar as circunferências como a ocorrência de um evento específico. Estas ilustrações são conhecidas na literatura como Diagramas de Eüler Venn.

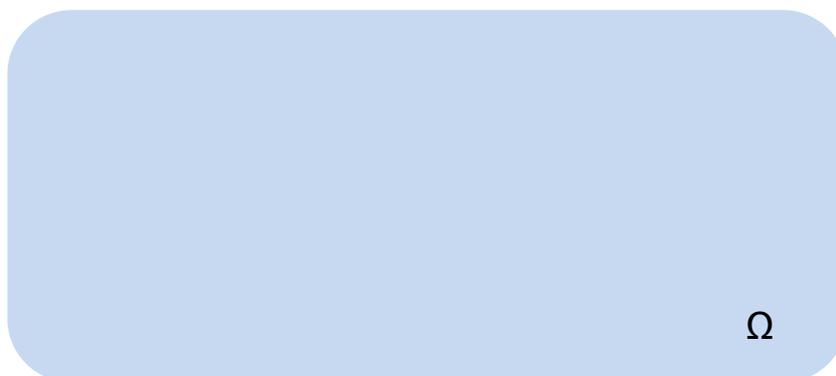
### Propriedade 1

$$\mathbb{P}(\emptyset) = 0 \quad (4)$$

Lê-se:

A probabilidade de ocorrer o conjunto vazio, ou seja, de ocorrer algo impossível é zero. Isto é, existe 0% de chances de ocorrer (Figura 6).

Figura 6 – Diagrama de Eüler-Venn para a ocorrência do conjunto vazio.



Fonte: Desenvolvido pela autora

### Propriedade 2

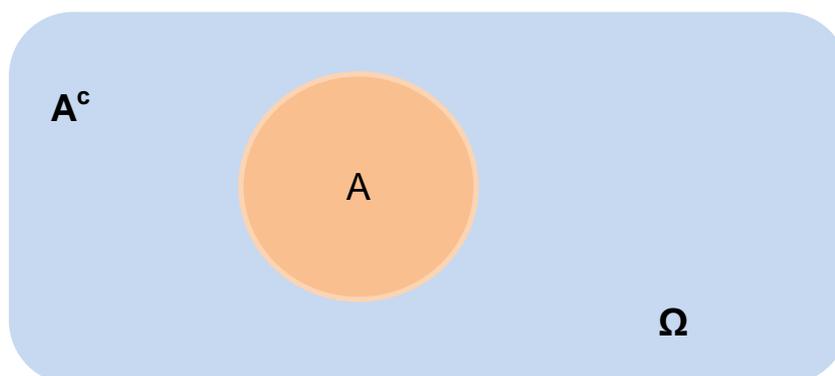
$$\mathbb{P}(A) = 1 - \mathbb{P}(A^c), \forall A \in \mathcal{A}$$

(5)

Lê-se:

A probabilidade de ocorrer o evento A é igual a um menos a probabilidade dele não ocorrer (Figura 7).

Figura 7 – Conjunto unitário



Fonte: Organizado pela autora

### Propriedade 3

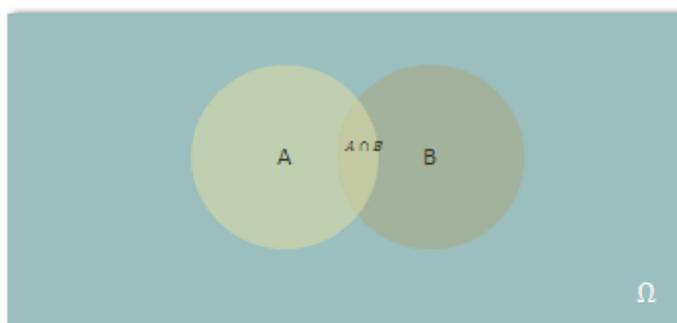
$$\mathbb{P}(A \cup B) = \mathbb{P}(A) + \mathbb{P}(B) - \mathbb{P}(A \cap B), \forall A, B \in \mathcal{A}$$

(6)

Lê-se:

A probabilidade de ocorrer o evento A ou o evento B é igual à probabilidade de ocorrer o evento A mais a probabilidade de ocorrer o evento B subtraído a probabilidade de ocorrer o evento A e B simultaneamente (Figura 8).

Figura 8 – Diagrama de Eüler-Venn para a ocorrência do conjunto A ou B



Fonte: Organizado pela autora

De acordo com a definição que foi exposta é natural que a probabilidade de ocorrência de um evento A seja encarada quanto a sua frequência em relação ao todo, matematicamente,

$$\mathbb{P}(A) = \frac{\text{casos favoráveis}}{\text{casos possíveis}} \quad (7)$$

Em que os “casos favoráveis” dizem respeito à quantidade de vezes que aconteceu o evento A e os “casos possíveis” é o número total de possibilidades que existe no *espaço amostral* em que se está trabalhando.

Por exemplo, procura-se a probabilidade da quantidade de vezes em que preço da *commodity* butadieno é superior à R\$ 280,00 no período de janeiro de 1992 a janeiro de 1993. Basta verificar a razão entre a quantidade de vezes que o butadieno foi superior este valor neste período e a quantidade de meses, ou seja, treze, que é o número de casos que são possíveis. Matematicamente, considere o evento A como o evento que quantifica o número de vezes que o preço do butadieno foi superior à R\$ 280,00 no período especificado. Assim, utilizando os dados da pesquisa, tem-se que:

$$\mathbb{P}(A) = \frac{\text{casos favoráveis}}{\text{casos possíveis}} = \frac{10}{13} = \cong 0,7692$$

(8)

Portanto, a probabilidade do preço do butadieno ser superior à R\$ 280,00 no período especificado é de 0,7692 ou 76,92%.

Na próxima seção serão abordadas as propriedades que envolvem as probabilidades condicionais, que é um conceito fundamental, para um entendimento sólido da metodologia de Redes Bayesianas.

### 2.3.1.2 Probabilidade Condicional

A probabilidade condicional trata do fato de que inúmeras vezes já se tem o conhecimento de que um determinado evento já ocorreu, e se está interessado em calcular a probabilidade de outro evento ocorrer tendo como conhecimento *a priori* a ocorrência deste primeiro.

A probabilidade de ocorrência do evento A, sabendo que o evento B ocorreu, ou simplesmente, a probabilidade de A, dado B, será denotada por  $\mathbb{P}(A|B)$  e definida através da seguinte expressão matemática:

$$\mathbb{P}(A|B) = \frac{\mathbb{P}(A \cap B)}{\mathbb{P}(B)}$$

(9)

Lê-se:

A probabilidade de ocorrer o evento A uma vez que o evento B já ocorreu é igual à razão entre a probabilidade de ocorrer o evento A e B simultaneamente e a probabilidade de ocorrer o evento B.

A partir desta definição podem-se concluir diversas propriedades, no entanto, este trabalho irá se ater, sem demonstrações, apenas àquelas que se fazem necessárias para um conhecimento mais técnico a respeito das RB.

**Propriedade 4:**

Para  $A_1, A_2, \dots, A_n$  eventos que não possuem intersecção e cuja a união é o espaço amostral  $\Omega$ , tem-se que:

$$\mathbb{P}(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n) = \mathbb{P}(A_1) \mathbb{P}(A_2 | A_1) \mathbb{P}(A_3 | A_1 \cap A_2) \dots \mathbb{P}(A_n | A_1 \cap \dots \cap A_{n-1}) \quad (10)$$

Lê-se:

A probabilidade de ocorrer os eventos  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , simultaneamente, é igual ao produto da probabilidade de ocorrer o evento  $A_1$  e cada probabilidade de ocorrer o evento seguinte dado o conhecimento dos eventos cujas probabilidades já tenham sido calculadas.

Diz-se que os eventos A e B são independentes se, e somente se,  $\mathbb{P}(A \cap B) = \mathbb{P}(A) \mathbb{P}(B)$ , isto é, ocorre independência se a probabilidade dos eventos A e B ocorrerem simultaneamente for igual ao produto das probabilidades deles ocorrerem individualmente. Com isso, tem-se a próxima propriedade:

**Propriedade 5**

Se A e B são eventos independentes então

$$\mathbb{P}(A|B) = \mathbb{P}(A) \quad (11)$$

Lê-se:

A probabilidade de ocorrer o evento A dado que o evento B já ocorreu é igual à probabilidade de ocorrer o evento A.

A partir destes enunciados, finalmente, é possível enunciar o principal teorema relativo às probabilidades condicionais, o consagrado **Teorema de Bayes**.

**Teorema de Bayes:** Considere  $A$  e  $B_1, B_2, \dots, B_n$  eventos que não possuem intersecção e cuja união é o espaço todo. Assim, o Teorema de Bayes afirma que:

$$\mathbb{P}(B_j|A) = \frac{P(B_j)P(A|B_j)}{\sum_{i=1}^n P(B_i)P(A|B_i)}, \text{ onde } \sum_{i=1}^n P(B_i)P(A|B_i) > 0 \quad (12)$$

Lê-se:

A probabilidade de ocorrer o evento  $B_j$  sabendo que o evento  $A$  ocorreu é igual ao quociente entre o produto da probabilidade de ocorrer  $B_j$  e a probabilidade condicional de  $A$  dado  $B_j$  e a probabilidade de ocorrer  $A$ . Note que a probabilidade de ocorrer o evento  $A$  pode ser reescrito como o somatório especificado no denominador da igualdade supracitada (BUSSAB, 2003).

Esta propriedade é expressa neste trabalho, quando se toma o banco de dados utilizados, pois o preço da *commodity* butadieno sofre influência de diversas outras variáveis então a probabilidade do preço do butadieno aumentar ou diminuir de um mês para outro depende do que ocorreu com as demais variáveis que o influenciam. É através desta lógica que os *softwares* de Redes Bayesianas trabalham para inferir sobre o valor de determinado objeto.

O conceito de RB será estudado no item seguinte, com mais detalhes e um *link* entre a teoria das probabilidades condicionais e esta metodologia poderá ser observado.

## 2.4 Redes Bayesianas

Atualmente, o uso de Redes Bayesianas agrega uma vasta gama de abrangência. Vai desde previsões do preço do petróleo (ABRAMSON; FINIZZA, 1995), como previsões meteorológicas e tantos outros usos. Dado o seu largo alcance, faz-se necessário compreender o que são, e como são criadas.

Segundo Bobbio *et. al.* (2001) as Redes Bayesianas também conhecidas como Redes Causais (CPN's), Rede de Crença Bayesiana (BBN's) e Gráficos de dependência probabilística. São modelos Gráficos probabilísticos utilizados para

raciocínio baseado em incerteza, na qual os nós representam as variáveis e os arcos ou arestas, a dependência direta entre elas. Estes podem ser aprendidos (PEARL,1988). Surgiram na década de 80 e têm sido aplicadas em uma grande variedade de atividades no mundo real. Para Neapolitan (2004), a técnica de Redes Bayesianas surgiu em um contexto onde há um grande número de variáveis e o objetivo é de verificar qual a influência probabilística não direta de uma variável para as demais.

Para Jensen (2001), uma Rede Bayesiana (RB) por definição compõe-se dos seguintes elementos: 1. Um conjunto de variáveis e um conjunto de arestas direcionadas entre as variáveis; 2. Cada variável tem estados finitos e mutuamente exclusivos; 3. As variáveis e as arestas direcionadas representam um grafo acíclico direcionado; 4. Cada variável  $A$ , com pais  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , possui uma Tabela de probabilidades condicionais  $P(A|B_1, B_2, \dots, B_n)$ , associada.

Em princípio, a Rede Bayesiana é composta por dois componentes: a estrutura gráfica (Grafo Direcionado Acíclico – GDA) e os parâmetros numéricos (Tabelas de probabilidades condicionais). Tanto o GDA, como os parâmetros numéricos podem ser aprendidos indutivamente pela Rede, a partir de dados iniciais. A indução da estrutura é feita antes da indução dos parâmetros numéricos. Se esta estrutura já é conhecida, então o problema se restringe a aprender os parâmetros numéricos.

Em uma RB, se há uma aresta direcionada do nó A para o nó B, então se diz que A é pai de B e B é filho de A. Hecherman (1996) afirma que quando usadas em conjunto com técnicas estatísticas o modelo apresenta vários atributos para a análise de dados que são:

(a) Por apresentar probabilidades condicionais entre as variáveis, o modelo lida com situações nas quais alguns valores para as variáveis estão ausentes;

(b) A Rede Bayesiana pode ser usada para se aprender relações causais entre as variáveis e pode ser usada para se incrementar o aprendizado sobre o domínio do problema e prever consequências ao se intervir no problema;

(c) Com o modelo possuindo a relação semântica causal e probabilística é ideal para se combinar conhecimento anterior (que frequentemente vem na forma causal) com os dados presentes;

(d) A estatística Bayesiana em conjunto com a RB oferece uma abordagem eficiente para que seja evitado um superaprendizado.

Quanto à estrutura, uma Rede Bayesiana, pode ser decomposta em duas partes complementares entre si (NASSAR, 2005): Qualitativa, é um modelo Gráfico no qual cada variável aleatória é representada por um nó e as relações causais entre as variáveis são representados por arcos direcionados. Assim caso exista uma seta partindo de A em direção a B, isto estará indicando que o primeiro tem influência direta na probabilidade do segundo, ou seja, A, significará uma causa enquanto B desempenhará o papel de consequência, estabelecendo assim a dependência entre estas duas variáveis. Daqui deve-se fazer a ressalva de que o modelo Gráfico não poderá apresentar ciclos, isto é, um efeito não pode circular de volta causando ele próprio.

Quantitativa, é formada por probabilidades condicionais associadas aos arcos presentes no modelo Gráfico e probabilidades a priori que são os valores estimados para os estados de cada nó de saída. Esta parte reflete o quão fortemente as variáveis estão associadas através dos valores de probabilidade, e as relações causais existentes entre os nós de entrada e saída. Todos estes valores de probabilidade representam o conhecimento de um especialista ou provém de uma base de dados (SIMÕES, 2001).

Uma das grandes barreiras encontradas nestas pesquisas, ou seja, uma das partes mais difíceis é a geração de grafos (de maneira controlada), uma vez que apresenta elevada dimensão da dificuldade. A quantidade de estruturas de grafos possíveis cresce exponencialmente em função do número de nós, conforme Tabela 1. Outra dificuldade são os métodos heurísticos que são propostos para geração de Redes Bayesianas. Não garante sobre a distribuição dos grafos gerados. Além disto, é desejável que se possua controle sobre a geração do grafo. E ainda a “geração uniforme de grafos” significa que cada grafo tem a mesma probabilidade de ser gerado, dentro do domínio de todos os grafos possíveis (Tabela 1):

Tabela 1 – Número total de combinações possíveis

<b>Número de nós (n)</b>	<b>Combinações possíveis (c<sub>n</sub>)</b>
1	1
2	3
3	25
4	543
5	29.281
6	3.781.503
7	1.138.779.265
8	783.702.329.343

Fonte: Ghaffari; Zari ( 2009)

Conforme Ghaffari; Zari (2009), o número total de combinações possíveis tem um crescimento exponencial, sendo impossível calcular as combinações sem o auxílio de programas computacionais. A seguir, será desenvolvida a RB.

#### 2.4.1 Desenvolvimento de uma Rede Bayesiana

As Redes Bayesianas (RB), além de serem amplamente utilizadas dentro da área de Estatística, são também utilizadas em outros sentidos, como na estimação do risco operacional e *credit scoring* (Chang *et. al.*, 2000), no diagnóstico médico (Abicalaffe, Amaral e Dias, (2004), Korb e Nicholson (2004)), em projeto de jogos computacionais (Vieira Filho e Albuquerque, 2007), na imputação de dados, entre outras. Desta forma, pode ser utilizada para fins de decisão, classificação, análise de dependência entre variáveis, sendo alternativa às técnicas comumente utilizadas como, a Regressão Logística e Análise Discriminante.

Em momentos de crise ou ruptura, os modelos econométricos lineares, utilizados, em geral, para modelar fenômenos econômico-financeiros, não representam mais uma boa aproximação da realidade. É neste sentido, que surgem novas metodologias que buscam aproximar os modelos teóricos dos dados reais. Uma alternativa é utilizar as RB que são ferramentas poderosas e auxiliam na tomada de decisão em modelos que envolvem um elevado grau de incerteza.

No Cenário das finanças corporativas internacionais atuais, a negociação de *commodities* ocorre diariamente e entre os participantes deste mercado, a correta previsão do preço destes ativos é fundamental. Diante do Cenário incerto do mercado de ações é coerente e viável a utilização de uma RB para realizar a correta previsão dos preços das *commodities*, uma vez que este tipo de metodologia considera o histórico mercadológico e a relação entre as variáveis que causam modificações no preço da *commodity* de interesse.

Neste trabalho, será realizada a inferência sobre o preço da *commodity* do butadieno, a curto e médio prazo, através da metodologia de RB com o auxílio do *software* GeNIe 2.0 (2006).

Outros autores, usando diversos métodos de previsão, conseguiram resultados menores, conforme aponta a Tabela 2:

Tabela 2 - Desempenho da previsão do Petróleo

Morana	2001	2 meses	46,67%
Fan <i>et. al.</i>	2006	1 mês	54,54%

Fonte: Ghaffari; Zari (2009)

Ghaffari e Zari (2009) ao comparar a variação prevista com a variação do real nos preços do petróleo, verificaram que a porcentagem de predição correta (PCP) é calculada para ser inferior a 55%. Futuros estudos devem ser focados no desenvolvimento de estratégias mais lógicas para manter as características da dinâmica de sistemas no modelo proposto por um período mais longo de tempo, o que ainda não foi alcançado.

Inúmeros autores como Ashton e Ashton (1985), Flores e White (1988), Winkler (1989), Hibon e Evgeniou (2005) sugerem em suas pesquisas que a combinação de métodos de previsão aumenta a acurácia destas, reduzindo, por conseguinte, a sua variação, através da agregação de informações independentes ao processo de previsão. Assim, os erros inerentes aos modelos são suavizados, minimizando o risco da previsão em relação à seleção de um método de previsão individual. A vantagem de se combinar métodos, é a utilização de diferentes dados históricos e diferentes técnicas de coleta e interpretação de dados e/ou métodos

diferentes (ARMSTRONG, 2001b). Sanders (1997) afirma que quanto menor a correlação entre as previsões, maior a possibilidade de melhoria na precisão da combinação das previsões individuais.

Para Wright (1994), a combinação de previsão depende de fatores como: o método de combinação, a natureza das previsões e o volume de previsões combinadas. Webby, O'Connor (1996) alertam que este método pode resultar em perda de precisão se a variável a ser prevista for instável.

Para que a combinação de previsões alcance o seu objetivo, ou seja, auxiliem na melhoria de desempenho dos métodos de previsão, neste caso específico, na melhoria das redes, podem-se utilizar técnicas diferentes, quais sejam:

a) Técnica qualitativa ou subjetiva, que se caracteriza pelo controle de um grupo de especialistas preferencialmente, sobre a previsão final, e são encorajados pela robustez desta estratégia de combinação;

b) Técnica quantitativa que utiliza algum tipo de modelo estatístico que se caracteriza pela previsão final obtida por uma previsão independente, combinado com uma previsão qualitativa (WRIGHT, 1994). A combinação quantitativa obtém resultados mais precisos que a combinação subjetiva.

No desenvolvimento de sua metodologia, Armstrong (2001a) obteve evidências de que métodos quantitativos são mais precisos que métodos qualitativos para situações em que dados encontram-se disponíveis. Também verificou que métodos simples devem ser priorizados em relação a métodos complexos, pois os primeiros são de fácil entendimento, têm menor custo e raramente são menos acurados que os métodos complexos. Os estudiosos, no entanto, ainda não chegaram a um consenso em relação ao número de métodos a serem combinados. Armstrong (2001b) sugere uma combinação de pelo menos cinco métodos, sendo que a taxa de melhoria de acurácia diminui com a adição de mais métodos na combinação. Flores e White (1988) sugerem a combinação de duas a quatro previsões para a obtenção de maiores ganhos no processo de previsão.

Para Ashton, Ashton (1985), na quantidade de previsões a serem agregadas deve-se sempre considerar o *trade-off* entre o aumento da acurácia e os custos

associados à obtenção das previsões individuais. Há a redução de acurácia quando a correlação entre as previsões individuais aumenta e pouca informação nova é adicionada a previsão combinada (WRIGHT, 1994).

Makridakis e Winkler (1983) advertem que a média aritmética obtém previsões mais precisas do que médias ponderadas, exceto quando uma previsão é muito mais precisa que a outra, pois a combinação vai gerar uma previsão com acurácia inferior à da melhor previsão. No entanto, Flores; White (1988) advertem que a otimização matemática dos pesos para médias ponderadas requer previsões individuais não tendenciosas, padrão estacionário dos erros das previsões e dados históricos suficientes para estimar pesos ótimos confiáveis, o que, geralmente, não ocorre nas situações reais.

A combinação de previsões deve ser usada quando há incerteza sobre qual é o melhor método de previsão para determinada situação ou quando grandes erros de previsão devem ser evitados. Frequentemente uma combinação de procedimentos é utilizada para obter a lista final de variáveis explanatórias (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; HYNDMAN, 1998). Se a influência das variáveis independentes listadas sobre os preços for confirmada, estas poderão ser usadas para prever valores futuros de preços, ou serem excluídas, se contribuem pouco na previsão de demanda (MENTZER; GOMES, 1989).

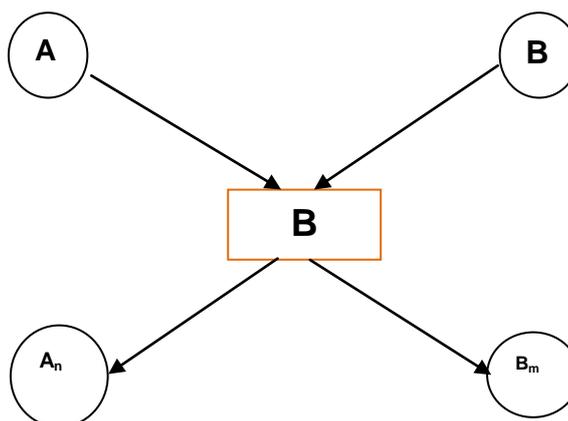
#### **2.4.2 Aplicabilidade das Redes Bayesianas**

Segundo Jensen (2001), uma Rede Bayesiana (RB) é por definição composta dos seguintes elementos:

- a) Um conjunto de variáveis e um conjunto de arestas direcionadas entre as variáveis;
- b) Cada variável tem estados finitos e mutuamente exclusivos;
- c) Os vértices representam uma variável aleatória e as arestas direcionadas representam dependências entre as variáveis aleatórias, formando um grafo acíclico direcionado.

Em uma RB, se há uma aresta direcionada entre os nós A e B, então se diz que A é pai de B e B é filho de A. Cada variável A, com filhos  $B_1, B_2, \dots, B_m$  possui uma Tabela de probabilidades condicionais conjuntas  $P(A | B_1, B_2, \dots, B_m)$ , associada.

Figura 9 – Rede Bayesiana a partir de variáveis e suas relações



Fonte: Russell; Norvig, 2003.

Serão apresentadas algumas das ferramentas disponíveis para o desenvolvimento da Rede Bayesiana proposta por esta pesquisa.

### 2.4.3. Ferramentas disponíveis

Para a composição deste trabalho foram avaliadas as diversas ferramentas disponíveis para o desenvolvimento da Rede Bayesiana.

a) Nética: O Software Nética é distribuído pela *Norsys Software Corp.* e tem um custo para sua utilização. Porém, dispõe um módulo limitado a 15 nós. Dispõe ainda de ferramentas para a avaliação das Redes Bayesianas como matriz de confusão, acerácea, qualidade entre outros (NETICA, 2010);

b) WEKA: é um *software* disponível online (também *open source*), desenvolvido na Universidade de Waikato na Nova Zelândia. Este *software* permite implementar diversos algoritmos sobre bases de dados, assim como possui diversas ferramentas que permitem transformar a base de dados.

c) GeNIe 2.0: GeNIe é a interface gráfica para o SMILE (*Structural Modeling, Interface, and Learning Engine*) é uma biblioteca de classes de C++ que implementa métodos Gráficos de decisões. A interface gráfica utilizada é o GeNIe. Ambos foram desenvolvidos no Laboratório de Sistemas de Decisão na Universidade de Pittsburgh, disponíveis para a comunidade desde Julho de 1998.

Para esta tese, o programa escolhido para elaboração da Rede Bayesiana foi o GeNIe 2.0 por apresentar um ambiente de desenvolvimento de fácil acesso para Gráficos de modelos de decisão. GeNIe 2.0 é um *software* que pode ser utilizado para criar modelos de decisão intuitivos utilizando uma interface gráfica de *click-and-drop*.

Os processos de construção desse estudo estão desenvolvidos no capítulo Aspectos Metodológicos descritos a seguir.

### 3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

O processo de construção dessa pesquisa constituiu-se de um processo científico da reconstrução do conhecimento acerca do tema explorado. Para tanto, é necessária a explicitação dos aspectos metodológicos aplicados no desenvolvimento desta pesquisa (DEMO, 1995).

Quanto à classificação da natureza da pesquisa científica, esta se classifica em básica e aplicada.

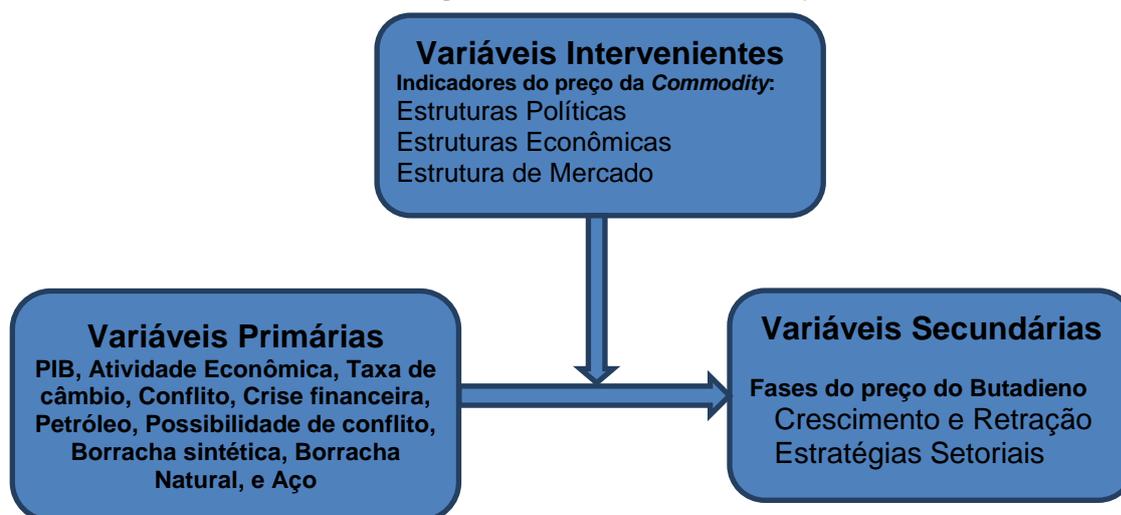
Esta tese caracteriza-se por ter natureza teórico-descritiva, pois se utiliza dos conhecimentos já adquiridos com finalidade de desenvolver novos processos. Quanto aos objetivos, é explicativa, uma vez que explica a razão, o porquê dos fenômenos. Quanto à forma de abordagem classifica-se como Quanti-Quali, pois por um lado por um lado enfatiza os indicadores numéricos e os percentuais sobre determinado fenômeno pesquisado, e por outro opera uma compreensão profunda de certos fenômenos sociais, apoiados no pressuposto do aspecto subjetivo da ação social e, por fim, quanto aos procedimentos técnicos de coleta de dados, esta pesquisa investiga os resultados da aplicação da modelização e simulação de uma ferramenta para previsão de preço de uma *commodity*. Sendo assim, o método de pesquisa utilizado foi a modelagem e a simulação.

Após compor este Quadro, passa-se à fase da apresentação do modelo da pesquisa e apresentação das variáveis.

#### 3.1 Modelo da pesquisa e apresentação das variáveis

O modelo da pesquisa deve ser compreendido como uma especificação explícita de um conjunto de variáveis e seus inter-relacionamentos, concebido para representar um sistema ou processo real como um todo ou apenas uma parte (MALHORTA, 2001). Para melhor visualização do modelo conceitual utilizado como referência, a Figura 10 - Variáveis da Pesquisa, aponta a vinculação entre as variáveis estudadas: intervenientes, dependentes e independentes.

Figura 10 - Modelo da Pesquisa



Fonte: Organização da autora

No que tange a estas variáveis, Kotler (1998) propõe que uma unidade de negócio precisa monitorar as forças macroambientais, ou seja, as forças demográficas, econômicas, tecnológicas, políticas, legais, sociais e culturais, e também os atores microambientais importantes, como os consumidores, concorrentes, canais de distribuição e fornecedores. Para Bethlem (1999) é importante que os dirigentes de empresa se mantenham informados sobre as variáveis externas que vão influenciar a atuação da empresa e quando possível procurar interferir no comportamento e evolução dessas variáveis. Esta classificação é fortalecida pela caracterização proposta por Kotler (1998) e Bethlem (1999).

Para efeito deste estudo foi apresentado na seção 3.1, o detalhamento do modelo da pesquisa. Quanto às variáveis primárias, estas são representadas por aquelas que compõem o preço da *commodity* do butadieno, em princípio foram utilizadas 12 variáveis primárias, coletadas referente ao período de 1988 a 2010, mensalmente, perfazendo 276 observações de cada variável, exceto daquelas que só são fornecidos anualmente. No entanto, a partir do cálculo do Alfa de *Cronbach*, e por falta de resultados durante todo o período, optou-se por eliminar duas variáveis, sendo estudadas 10 delas.

As variáveis secundárias ou dependentes, aquelas que sofrem o efeito decorrente da variável independente, se traduzem nas fases do preço do Butadieno, seja no Crescimento e Retração deste e Estratégias Setoriais.

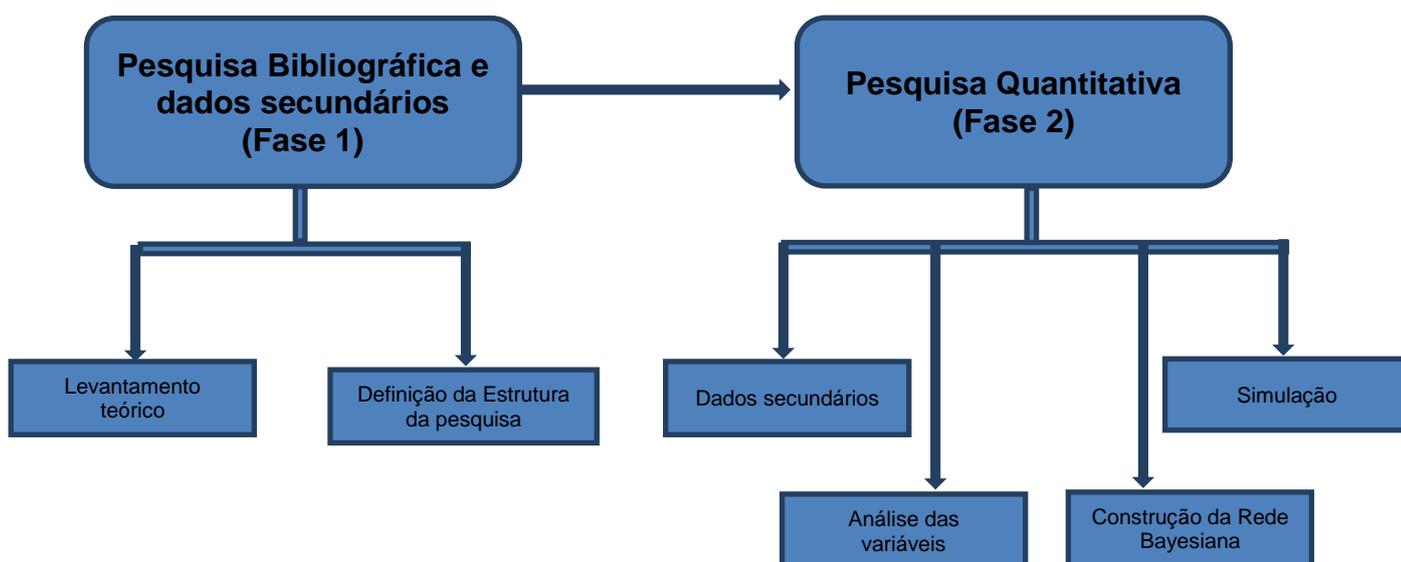
Por sua vez, as variáveis intervenientes são aquelas que afetam o fenômeno observado sem, no entanto, ser manipulada ou medida. Estas foram agrupadas em três estruturas de análise da *commodity* representadas pelas variáveis secundárias: políticas, econômicas e de mercado. Essas variáveis intervenientes, estudadas do referencial teórico, não compõe a análise quantitativa da pesquisa.

A seguir, estão descritos as etapas dos procedimentos metodológicos de coleta e análise de dados dessa tese.

### 3.2 Procedimentos metodológicos da coleta e análise dos dados

Malhortra (2001) aponta que um projeto de pesquisa pode ser concebido com mais de uma abordagem de pesquisa, e podem combinar concepções dependendo da natureza do problema, atendendo a diversas finalidades. A figura 11 visualiza as fases propostas nesta pesquisa.

Figura 11 - Desenho geral dos procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa



Fonte: Organização da autora

Nesta primeira fase foi realizado o levantamento bibliográfico da literatura existente sobre o tema proposto. A pesquisa desenvolveu o estudo das *commodities*

e suas características, bem como o uso de Redes Bayesianas como ferramenta para previsão do preço da *commodity* junto aos especialistas, instituições e organizações públicas e privadas. Este tipo de investigação fornece instrumento analítico para qualquer tipo de pesquisa e pode ser realizado com base na consulta de material publicado em livros acadêmicos, revistas e jornais especializados, redes eletrônicas, isto é, material acessível ao público em geral (VERGARA, 2000).

Quadro 4 - Resumo da Fase 1

Pesquisa	Bibliográfica
Base da consulta	Livros acerca do tema, revistas e jornais especializados, periódicos e anais de congressos nacionais e internacionais, redes eletrônicas, dissertações de mestrado e teses de doutorado, base de dados de instituições privadas e públicas, relatórios sobre o tema.
Justificativa	Ampliar o conhecimento sobre a pesquisa em tela, definir as estruturas e conhecer as variáveis que influenciam na dinâmica da <i>commodity</i> estudada, e obter meios para se chegar aos objetivos da pesquisa.

Fonte: Organização da autora

Na fase 2 foi construída a Rede Bayesiana da *commodity* do Butadieno. O desenvolvimento dessa etapa foi marcado pela pesquisa quantitativa por meio da inferência estatística. De acordo com os objetivos deste estudo, que é construir a Rede Bayesiana para uma *commodity*, foi realizada uma pesquisa quantitativa. Esta foi desenvolvida através da investigação descritiva baseada em dados secundários. A pesquisa descritiva tem como objetivo descrever as características de um grupo, determinar a proporção de membros de uma população que se comportam de certa maneira ou formular determinada previsão (CHURCHILL, 1991).

Martins (1999) ressalta que há 3 procedimentos mais utilizados para a coleta de dados: a observação participativa, a entrevista e o exame de documentos. Nesta pesquisa, foi realizada a coleta, através de bancos de dados secundários de instituições como as Universidades públicas e privadas, Artigos Científicos, Livros, Relatórios de órgãos Governamentais, Institutos, como o *International Institute of Synthetic Rubber Producers, Inc*, Sites de Empresas, Manuais específicos disponíveis no *“The Synthetic Rubber Manual”*, produzido também pelo IISRP. Outros dados foram gentilmente cedidos pela *ICIS Pricing*, que cedeu os dados

mensais do preço do butadieno no período compreendido entre 1988 e 2010. Os valores Tabulados se encontram no Anexo 1 deste estudo.

A partir daí foram feitas a verificação das correlações das variáveis para averiguar se há correlação significativa, ou se a variável é descartável. Após a determinação de quais variáveis são consideradas necessárias, foram elaboradas as Tabelas de probabilidades condicional da Rede Bayesiana e com os dados no período seguinte, verificada a taxa de sucesso por período. Nesta etapa, buscou-se pesquisar o butadieno, segundo sua caracterização de *commodity* e atuação mundial, e os seus fatores de influência (Econômicos, Políticos e de Mercado).

Para isto, foram coletadas informações dos principais mercados produtores e consumidores históricos mundiais da *commodity* do butadieno, que são a América do Norte com 16% da produção mundial de Butadieno. Por sua vez, a Demanda de butadieno no Nordeste Asiático (45%) é superior à sua produção, seguido da Europa (22%) e América do Norte (19%). Buscou-se também informações mundiais consolidadas da *commodity* (CMAI, 2012) .

É importante, destacar que os países supracitados apesar de possuírem diferentes contribuições percentuais da produção da *commodity* do butadieno, com diferentes valores de mercado, foram utilizados os preços indicados pelo *ICIS pricing* da *Reed Elsevier PLC group*. Também se destaca a grande vantagem dos dados utilizados: o uso de séries temporais de baixa frequência, que possui larga quantidade de dados e fatores disponíveis mundialmente que influenciam os preços de todas as estruturas analisadas e desconsidera o aspecto sazonal dos preços, ocasionado pelos períodos alternados de safra e entressafra da produção das *commodities*.

A amostra coletada compreende, conforme já explicado, séries históricas de dados anuais observados no período de 1988 a 2010, constituindo um total de 276 observações para cada variável coletada, exceto para aquelas cuja periodicidade é anual.

Concluído a coleta dos dados, tratamento e padronização dos indicadores, com a utilização de análise estatística descritiva, na próxima fase tratou-se da

análise dos dados. Nota-se que estas, são de caráter eminentemente multivariado, inferindo na utilização de técnicas estatísticas e procedimentos econométricos.

A análise multivariada é empregada quando existem duas ou mais mensurações por elemento da amostra e as variáveis serão analisadas simultaneamente (MALHOTRA, 2001). De acordo com Johnson e Wichen (1992), os propósitos mais frequentemente perseguidos com a análise multivariada são:

1. Redução de dados e simplificação estrutural,
2. Agrupamento de indivíduos ou objetos e variáveis similares,
3. Investigação de dependência entre variáveis,
4. Predição e,
5. Construção e teste de hipóteses.

No sentido mais amplo, os procedimentos consistem na aplicação de técnicas matemáticas e estatísticas, visando essencialmente, uma conjunção da teoria econômica com medidas concretas, usando como ponte a teoria e as técnicas de inferência estatística (GUJARATI, 2000).

O intuito é a construção da Rede Bayesiana para a verificação do preço da *commodity*, assim, os procedimentos econométricos multivariados para classificar as variáveis e selecionar os modelos se basearam em previsão recursiva dentro da amostra, a partir da análise de séries temporais (CHAUVET, 2001). A análise das séries temporais possui como objetivo a realização de inferências sobre as propriedades ou características básicas do mecanismo gerador do processo estocástico das observações da série (GRANGER; NEWBOLD, 1977).

Assim, através da abstração de regularidades contidas nos fenômenos observáveis de uma série temporal, existe a possibilidade de se construir um modelo matemático como uma representação simplificada da realidade (BARBANCHO, 1970).

Wheelwright e Makridakis (1985) acrescentam que os métodos de previsão utilizando séries temporais baseiam suas previsões na extrapolação de características de observações passadas e no inter-relacionamento entre essas observações, fornecendo previsões acuradas se o futuro apresentar comportamento

similar ao passado. O Quadro 5 traz um resumo da segunda fase metodológica da pesquisa:

Quadro 5 - Resumo da Fase 2

Base da Pesquisa	<i>Commodity</i> do Butadieno
Pesquisa	Quantitativa, de natureza descritiva
Base da consulta	<i>International Institute of Synthetic Rubber Producers, Inc</i> , Manuais específicos disponíveis no “ <i>The Synthetic Rubber Manual</i> ”, Manual produzido pelo IISRP.
Análise dos Dados	Realizada através da Análise Estatística

Fonte: Organização da autora

O modelo adotado se baseia, num primeiro momento, no questionamento aos especialistas (Anexo 2) que trabalham com a compra do produto, que indicaram as variáveis, que melhor representariam a tendência da variação de preços do Butadieno. Assim, a partir das variáveis que afetam o preço do petróleo, foram pesquisados na bibliografia quais seriam as variáveis que teriam aderência à *commodity* pesquisada.

### 3.3 Análise das variáveis

Após pesquisa com especialistas, chegou-se a um total de 12 variáveis independentes coletadas: Produto Interno Bruto, Atividade Econômica, Procura/Oferta, Taxa de câmbio, Conflito, Crise financeira, Petróleo, Possibilidade de conflito, Borracha sintética, Borracha Natural, Armazenamento e Aço. No entanto, duas variáveis, Armazenamento e Procura/Oferta foram subtraídas deste estudo, por motivos que serão explicados no capítulo 4. Segue então o estudo das 10 variáveis aplicadas nessa pesquisa.

#### 3.3.1 Produto Interno Bruto- PIB

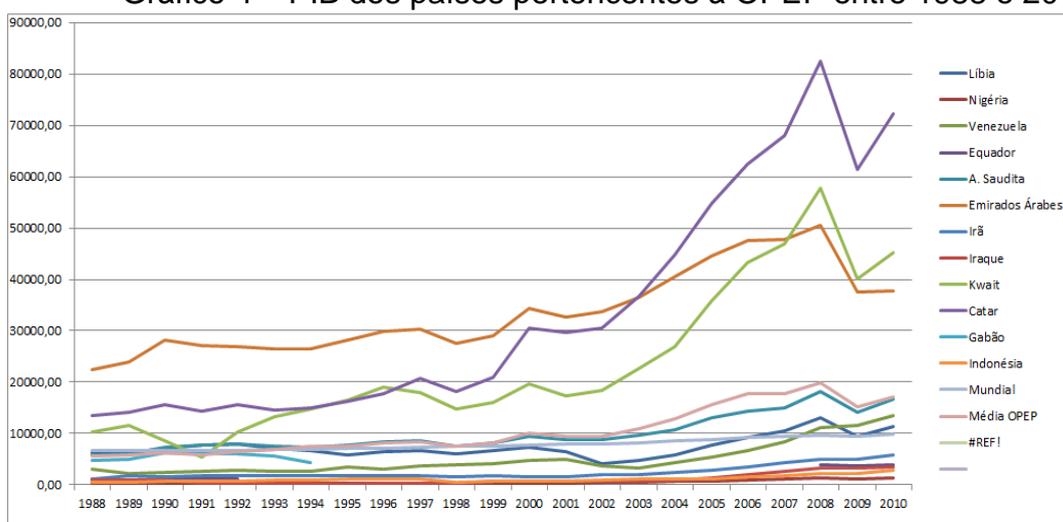
O Produto Interno Bruto (PIB), foi uma das variáveis selecionadas, por ser um dos indicadores mais utilizados na macroeconomia com o objetivo de mensurar a atividade econômica de determinada região.

Para a formação do PIB consideram-se apenas bens e serviços finais, excluindo da conta todos os bens de consumo de intermediário, de modo a evitar o

problema da dupla contagem, quando valores gerados na cadeia de produção aparecem contados duas vezes na soma do PIB (GORDON, 2000). Na composição desta variável estão os seguintes países: Angola, Argélia, Líbia, Nigéria, Venezuela, Equador, Arábia Saudita, Emirados Árabes, Irã, Iraque, Kwait, Catar, Gabão e Indonésia.

Nesta pesquisa foram usados a frequência anual e o PIB real, o qual diz respeito ao valor do PIB calculado a preços correntes, ou seja, no ano em que o produto foi produzido e comercializado, dos países membros da Organização dos Países Produtores de Petróleo (OPEP), enquanto faziam parte desta. Um exemplo é Angola, que só entrou para a OPEP em 2007, e, portanto, só é listada a partir deste período. Os outros países com descontinuidade de participação são Gabão e Equador. O Gráfico 4 apresenta a valor do PIB real no período entre 1988 e 2010:

Gráfico 4 – PIB dos países pertencentes à OPEP entre 1988 e 2010



Fonte: adaptado Banco mundial (2013); Kushnirs (2013)

Observa-se que houve flutuação não homogênea para todos os países, e que para países como a Líbia, Nigéria e Venezuela, houve grande incremento no PIB, sobretudo a partir do ano de 2002, sofrendo um recuo em 2008. Isto, no entanto, não se reflete em riquezas para o país. Na Venezuela, quase 70% dos royalties não são reaplicados em investimentos na área, e sim em programas assistencialistas, e todo poder de compra do país, torna-se em consumo autofágico (VEJA, 2014).

### 3.3.2 Atividade Econômica

Nessa pesquisa, admitiu-se como Atividade Econômica qualquer variação da atividade produtora de riquezas, que se opera mediante a extração, transformação e distribuição de recursos naturais, bens e serviços, tendo como finalidade a satisfação de necessidades humanas. Em outras palavras, atividade econômica é a atividade que cria riquezas e compreende tudo aquilo que possa ser objeto de especulação lucrativa (GRAU, 1998). No entanto, o lucro não é necessário, dado que as empresas públicas poderão ou não gerá-los. Para se chegar aos valores desta variável, utilizou-se dos dados disponibilizados pelo Governo que usa a ferramenta aliceweb (ALICEWEB, 2014). Assim, utilizou-se o Bloco Econômico 42, e pesquisou-se todo o período estudado atribuindo variáveis *dummy* 0 e 1. Se a variação da Atividade Econômica for positiva, atribuiu-se 1, caso contrário, 0.

### 3.3.3 Taxa de câmbio

A variável variação Taxa de câmbio tratada nessa pesquisa é a oscilação do preço de uma moeda estrangeira, medido em unidades ou frações (centavos) da moeda nacional, refletindo assim o custo de uma moeda em relação à outra, é a relação entre a taxa de venda e taxa de compra. Portanto, a taxa de câmbio é uma das variáveis mais importantes da macroeconomia, especialmente no que tange ao mercado internacional. Quando o objetivo é comercializar ativos de um país para outro, quase invariavelmente é necessário mudar a unidade de conta do valor desses ativos, de moeda nacional para a moeda estrangeira (KASZNAR, 1990).

Destarte, pode-se definir a taxa de câmbio de um país como a quantidade de unidades de moeda de um país necessário para se comprar uma unidade de moeda de outro país, ou seja, é o preço de uma moeda em termos de outra.

### 3.3.4 Conflito

Segundo a corte de Haia (ONU, 1946), o conceito de conflito, ou litígio internacional, é todo desacordo sobre certo ponto de direito ou de fato, toda

contradição ou oposição de teses jurídicas ou de interesses entre dois Estados. Embora seja o tipo de conflito mais comum, é possível ainda ter outras partes interessadas, como organizações internacionais. O principal foco desta pesquisa foi manter-se fiel aos conflitos nos países produtores de petróleo, especialmente aqueles que são membros da OPEP, conforme abordado no Quadro 6. Outros conflitos relevantes para a pesquisa são aqueles que venham a influenciar de forma direta ou indireta as alterações de preço do petróleo e seus derivados, especialmente a *commodity* estudada.

Quadro 6 - Conflitos nos países membros da OPEP entre 1988 e 2010

<b>Período</b>	<b>Região</b>	<b>Conflito</b>
1980-1988	Ásia	Guerra Irã-Iraque
1989	EUA/URSS	Fim da Guerra Fria
1991	Golfo Pérsico	Guerra do Golfo
1991-2002	Argélia	Guerra Civil da Argélia
1950 -1992	Coreia	Fim da Guerra entre as Coreias
1994	África/Ásia/América Latina	Diversos conflitos e possibilidades de conflitos no mundo: Saravejo, Rhuanda, Haiti.
1999	Chechênia	2ª Guerra da Chechênia
1975 – 2002	Angola	Guerra Civil Angolana

Fonte: Pesquisa

### 3.3.5 Crise financeira

Segundo Marx, crise financeira é um período de transição para uma recessão ou depressão econômica. Minsky (1986) definiu em sua Teoria da Instabilidade financeira, que a crise financeira está ligada ao conceito de *cushion of safety* (margem de segurança), que deve cobrir a margem de erro das expectativas dos rendimentos esperados de um dado projeto de investimento. Entretanto, a redução da *margem de segurança* deve ser baseada em algo mais que o estado de *euforia* ou excesso de expectativas otimistas. Essa hipótese pressupõe que o risco de seleção adversa seja feito por especialistas (técnicos dos bancos) e não por cálculos de alta complexidade.

Kregel (2008) atenta para a ocorrência de que a decisão dos bancos de conceder empréstimos para os empresários, mesmo quando se trata de um projeto

de investimento rentável, não é somente avaliar o risco do tomador e do prestador quanto à possibilidade de fracasso do seu projeto de investimento, mas também considerar para a concessão do empréstimo determinadas “regras de confiança”. Para efeitos desse estudo, utilizou-se de fatos históricos para compreender a variável *dummy*, na qual 0 (zero), significava não haver crise financeira, e 1, caso contrário.

No Quadro 7 estão descritas as crises financeiras no período estudado, o período em que ocorreram e a região envolvida.

Quadro 7 - Crises Financeiras no período entre 1988 e 2010

<b>Período</b>	<b>Região</b>	<b>Crise</b>
1990s	Japão	Bolha Especulativa
1992-1993	Europa	Ataques especulativos às moedas no <i>European Exchange Rate Mechanism</i> (Mecanismo de taxas de câmbio europeu).
1994-1995	México	Crise econômica causada por ataque especulativo e inadimplência do México.
1997-1998	Ásia	Desvalorizações e crise bancária em vários países da Ásia.
1998	Rússia	Desvalorização do rublo e inadimplência da Rússia.
2001-2002	Argentina	Quebra do sistema bancário
2008	EUA	Crise dos subprimes

Fonte: Resultados da pesquisa

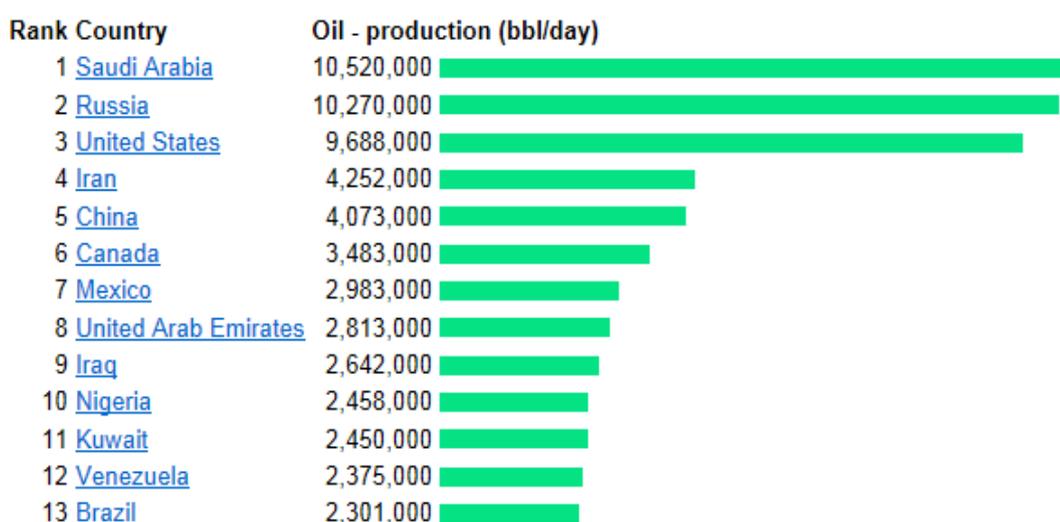
### 3.3.6 Petróleo

O petróleo é uma substância oleosa, inflamável, geralmente menos densa que a água, que apresenta odor característico e coloração que varia entre o incolor ou castanho claro até o preto, passando por verde e castanho escuro. Seu principal derivado é a gasolina, principal combustível para grande parte dos automóveis circulantes no mundo. É usada ainda para a parafina, gás natural, GLP, produtos asfálticos, nafta petroquímica, querosene, solventes, óleos diversos e borracha sintética.

Por tratar-se de uma matéria-prima de origem não renovável e de elevado valor econômico, o petróleo tornou-se um elemento causador de grandes mudanças

geopolíticas e socioeconômicas em todo o mundo. A existência da principal fonte de energia global em seus domínios territoriais é sinônimo de riqueza e poder para qualquer nação. Atualmente, os doze maiores produtores de petróleo do mundo são: Arábia Saudita (10.520 bbl/dia), Rússia, Estados Unidos, Irã, China, Canadá, México, Emirados Árabes Unidos, Iraque, Nigéria, Kuwait e Venezuela. O Brasil ocupa a 13ª posição com 2.301bbl/dia, conforme o Gráfico 5:

Gráfico 5 – Ranking da produção de Petróleo no mundo



Fonte: Index Mundi (2012)

Neste estudo, foram considerados os valores do petróleo bruto Brent Price (E.U.) dólares por barril, por uma questão de facilidade de encontrar a série histórica de todo o período estudado.

### 3.3.7 Possibilidade de conflito

A possibilidade de conflito ou litígio internacional ou confronto armado, diz respeito à possibilidade ou iminência dos países produtores/exportadores de petróleo entrarem em conflito, dada a intolerância entre seus líderes, seja no aspecto econômico, político ou de mercado, alertados por agências ou organizações como a Organização das Nações Unidas (ONU). Assim como no subitem 'conflito',

também neste subitem, o principal foco desta pesquisa foi manter-se fiel às possibilidades de conflitos que estivessem envolvidos os países produtores de petróleo, especialmente aqueles que são membros da OPEP. Mais uma vez, foram analisados os fatos históricos do período estudado.

### **3.3.8 Borracha sintética**

A borracha sintética é o conjunto de compostos produzidos com o intuito de reproduzir as propriedades da borracha natural. (STEVENSON, 1996). Um dos compostos desenvolvidos, que marcaram o período de desenvolvimento da borracha sintética, foi o copolímero SBR (Borracha de Estireno-Butadieno), que embora não alcançasse a qualidade da NR (*Natural Rubber*), foi muito utilizado na produção de pneus, devido às suas características e baixo custo.

A partir da segunda metade do século XX, houve uma grande ampliação na utilidade das borrachas sintéticas, que levou ao desenvolvimento de diversas propriedades, diversificando o leque de borrachas sintéticas. Porém as principais utilizadas pela indústria atualmente são o Poli-butadieno (PBR), borracha de butadieno estireno (SBR), borracha Poliisopreno (IR), borracha butílica (IIR), EPDM, e Borracha nitrílica (NBR) (CPMA, 2011).

Atualmente, a substituta da borracha natural, já resiste melhor ao envelhecimento, às rachaduras e à abrasão do que o produto natural. Porém, ainda existem debilidades quanto à sua resistência e flexibilidade, pois são pobres e em algumas aplicações, principalmente bandas de rodagem de pneus, ainda é misturada à borracha natural. No processo industrial, as borrachas recebem diversos aditivos, alguns inertes e outros de reforço de estrutura. Alguns que atribuem cor, odor e resistência, entre diferentes características. Cada ingrediente desempenha uma função específica com o correspondente impacto nas propriedades, na processabilidade e no preço do produto final. Para obter os resultados que deseja, a indústria da borracha segue uma formulação específica para que o resultado final da mistura tenha as características predeterminadas pelo cliente (CRQ4, 2013).

Para efeito de cálculo nesta pesquisa, utilizou-se dos valores em dólares desta *commodity* por tonelada.

### 3.3.9 Borracha Natural

A variável borracha natural (NR) é o produto primário da coagulação do látex da seringueira ou *Hevea brasiliensis*, uma árvore originária da Região Amazônica do Brasil (Havinga, 2003). Tem um mercado voltado para o uso industrial. Cerca de 90% da produção mundial vem das plantações da árvore brasileira *Hevea brasiliensis* no sudeste da Ásia. Ainda que seja uma planta de origem brasileira, atualmente, países como a Indonésia, responsável por 29% da produção e a Tailândia, por 27% e são os maiores produtores de borracha natural do mundo, o Vietnã, recentemente tem aumentado muito a sua produção (RIPPER, GALEMBECK; 2009 (a); (b)).

A heveicultura, como é conhecida a cultura da seringueira, é uma atividade com forte apelo socioeconômico e ambiental. Os principais contratos de borracha natural, tanto no mercado futuro quanto no mercado *spot*, são negociados basicamente no continente asiático. Destaque para a Bolsa de Mercadorias de Tóquio (TOCOM), a Bolsa Nacional de Mercadorias e Derivativos da Índia, a Bolsa de Futuros Agrícola da Tailândia, a Bolsa de Borracha da Malásia, a Bolsa Mercantil de Osaka e a Bolsa de Mercadorias de Cingapura (ADVFN, 2013).

### 3.3.10 Aço

O aço é uma das mais típicas *commodities* do mundo, e apresenta extrema dificuldade em se especificar e precificar, dado as suas múltiplas propriedades químicas e físicas e, aos seus mais de 3.500 diferentes produtos. Por isso, não há um valor de referência mundial para esta *commodity*. O valor monetário da produção mundial de aço é duas vezes maior que o valor de todas as principais *commodities* metálicas industriais em conjunto. Em volume de produção, o total de aço produzido anualmente é, pelo menos, 15 vezes maior que todas as demais *commodities* metálicas (ADVFN, 2013).

Em termos de importância, provavelmente, só perde para o petróleo. Atualmente, a China é a maior produtora mundial de aço bruto, seguida de Japão, Estados Unidos e Rússia. A produção anual chinesa representa quase 50% do total

de aço produzido no planeta. O aço escolhido para esta pesquisa foi o aço laminado a frio, por questão de facilidade de acesso às informações do preço. Para efeito desta pesquisa, utilizou-se os valores em dólar por tonelada do aço laminado a frio.

Definidas as variáveis, passa-se à fase de construção da Rede Bayesiana em si, que será apresentada no próximo item.

#### 4. CONSTRUÇÃO DA REDE BAYESIANA

Neste capítulo, busca-se a construção da Rede Bayesiana para a *commodity* do Butadieno. Para se chegar a este fim, foram seguidas algumas etapas fundamentais e encadeadas: 1. Seleção dos fatores de mercado e levantamento dos dados; 2. Estudo da variável primária; 3. Datação da série histórica de referência; 4. Seleção das Variáveis; 5. Construção da RB. O Quadro 8, apresenta um resumo da sequência para a construção da Rede Bayesiana, indicando a metodologia de análise aplicada e o produto que se pretendeu alcançar.

Quadro 8 – Sequência para a construção da RB

<b>Etapas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Metodologia</b>
1 <sup>a</sup>	Seleção dos fatores de mercado	Análise descritiva dos dados
2 <sup>a</sup>	Análise do preço da <i>commodity</i> (variável primária)	Análise descritiva dos dados
3 <sup>a</sup>	Datação da Série Histórica de referência	Confronto com acontecimentos históricos
4 <sup>a</sup>	Seleção das Variáveis e desenvolvimento do questionário	Análise das variáveis que comporão a Rede Bayesiana
5 <sup>a</sup>	Validação do questionário	Análise através do Alfa de <i>Cronbach</i>
6 <sup>a</sup>	Construção da RB	Passo a passo para a Construção

Fonte: Dados da pesquisa

Observando a sequência descrita no Quadro supra, a primeira etapa para a construção da Rede Bayesiana do Butadieno é a Seleção dos fatores de mercado. Assim, dá-se início ao levantamento das potenciais variáveis, baseadas na análise dos dados secundários. A partir de então, passou-se à segunda etapa que foi a análise do objeto deste estudo, que são os preços da *commodity* do Butadieno.

A terceira etapa foi a datação da série histórica desta variável, para identificar quais acontecimentos históricos foram responsáveis pela variação do preço desta *commodity*. Na quarta etapa, realizou-se a seleção da RB que melhor converge para a *commodity* estudada. Após estas etapas, passou-se à validação do questionário aplicado e por fim à construção da Rede Bayesiana.

#### 4.1 Seleção dos fatores de mercado

Para a construção da Rede Bayesiana proposta nesta pesquisa, utilizou-se de variáveis macroambientais, para que se conhecessem as que mais importavam, na variação do preço da *commodity* estudada. Estes fatores foram escolhidos a partir de critérios como:

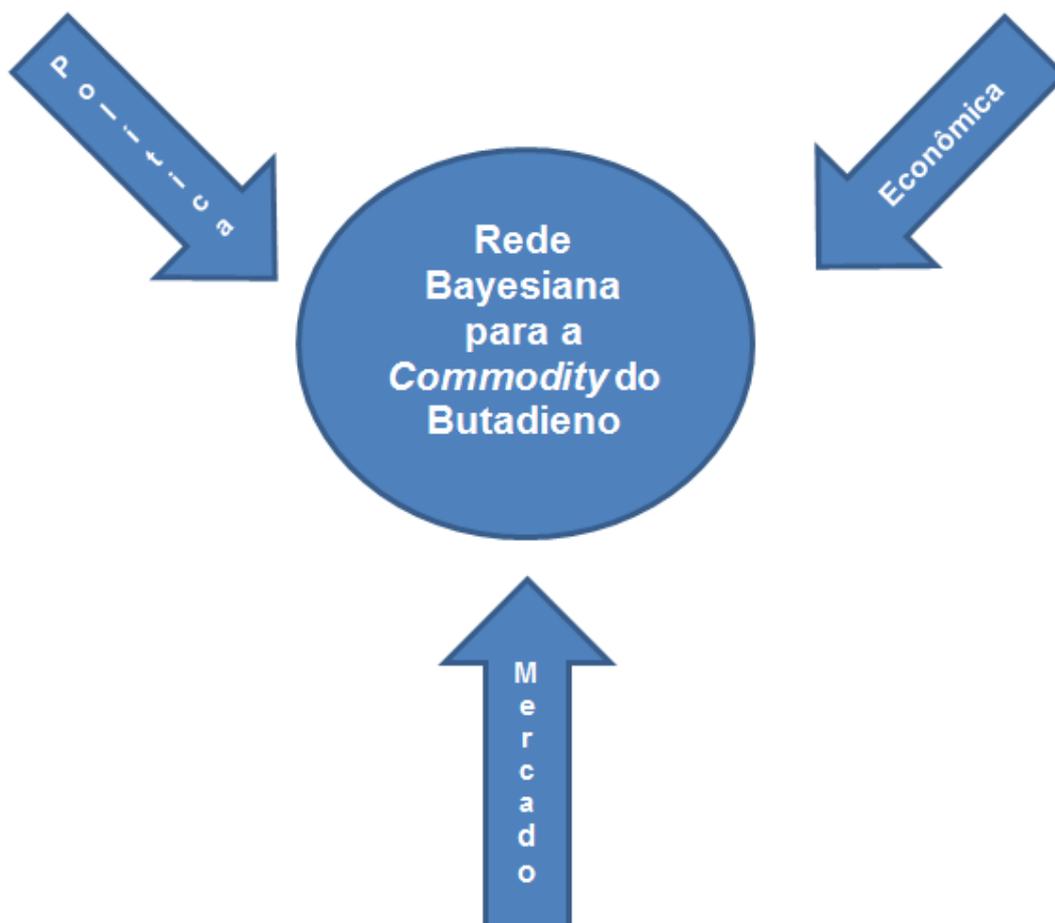
- a) Aderência – Capacidade da variável em captar e alterar o fenômeno (alterar o preço da *commodity*);
- b) Relevância – Capacidade da variável em traduzir e influenciar o fenômeno;
- c) Disponibilidade de dados – Inclui-se neste item periodicidade e atualidade dos dados;
- d) Comportamento e consistência – Em relação ao fenômeno.

A partir dos critérios descritos acima, pôde-se reduzir o número de variáveis dentro de cada categoria e houve o direcionamento das políticas públicas e ações privadas, enfatizando uma determinada categoria fortemente relacionada com a *commodity* estudada. No entanto, é evidente que mesmo havendo tal redução, a complexidade e amplitude das variáveis estão envolvidas com tantos fatores intrínsecos como extrínsecos que torna complexa uma identificação e análise. A partir dessa dificuldade, observa-se a oportunidade de classificar estas variáveis em fatores estruturais, possibilitando simultaneamente captar as influências internas e externas, de modo que haja uma simplificação da interpretação e análise das diferentes informações que influenciam o objeto de análise central. Desta forma, as variáveis estudadas classificaram-se em três estruturas macroambientais: estrutura política, estrutura econômica e estrutura de mercado.

O objetivo da classificação dessas variáveis nas estruturas citadas foi facilitar a compreensão da natureza da flutuação dos preços da *commodity* e desenvolver uma ferramenta capaz de identificar as tendências dos preços desta. A compreensão do comportamento da tendência dos preços das *commodities* do butadieno torna possível contribuir para a verificação do efeito das políticas de incentivo e definição de Cenários que minimizem o risco por parte dos tomadores de decisão (HARRISON; STEVENS, 1996), e assim auxiliar os agentes ligados a este setor no que tange à comercialização.

Para a construção da ferramenta de apoio à decisão que pudesse prever, periodicamente, o preço futuro de uma *commodity* a curto e médio prazo proposta neste trabalho, primeiramente foram caracterizadas as estruturas que compõem a RB: Políticas, Econômicas, Mercado, conforme Figura 12.

**Figura 12– Estruturas de formação da RB do Butadieno**



Fonte: Resultados da Pesquisa

Esses três fatores estruturais compõem o tripé em que estão apoiadas as teorias, as quais sejam:

#### **4.1.1 Variáveis Políticas**

Estas variáveis decorrem das políticas de decisão adotadas pelos Governos de cada país, quando estas decisões têm influência sobre as atividades das organizações (HALL, 1984; STONER, 1985). São estas variáveis que influenciam no

chamado clima político e ideológico geral que os governos podem criar e a estabilidade ou não política, e institucional do país em geral, uma vez que repercutem em algum grau no comportamento das organizações. Segundo Vasconcelos Filho (1985), para identificar estas variáveis políticas é necessário a compreensão de algumas variáveis políticas:

“partidos políticos, sindicatos, instituições religiosas, forças armadas, associações de classe, empresas multinacionais, empresas estatais, ministérios, secretarias de Estado, poder legislativo, poder judiciário, poder executivo, regime de governo, importância relativa dos fatores de poder, tipos de relacionamentos entre fatores, tipos de participação dos fatores, política monetária (*taxa de câmbio*), política tributária (*crise financeira*), política de distribuição de renda, política de relações internacionais (*conflito e possibilidade de conflito*), legislação (federal, estadual, municipal), política de estatização, política de segurança nacional, entre outras.” (VASCONCELLOS FILHO, 1985).

Para Hall (1984), as leis não são aprovadas sem que haja pressão política, que repercute sobre as organizações. Uma das ações políticas de maior pressão é o *lobby* que, em períodos eleitorais, afeta organizações.

As organizações do setor privado são menos afetadas do que as organizações do setor público, o que não as isenta de ficar sintonizadas com o clima político. Menciona que uma prova da importância do fator político para as organizações são as contribuições empresariais ilegais feitas a partidos políticos, indivíduos nacionais e estrangeiros. Cita também a "propaganda institucional", a qual busca gerar apoio público para a organização envolvida, revelando a importância das variáveis políticas na sociedade maior no que tange às organizações que nela estão contidas.

#### **4.1.2 Variáveis Econômicas**

Estas estruturas compõem-se dos fatores macroeconômicos que influenciam o preço da *commodity*. As variáveis econômicas incluem o PIB; o balanço de pagamentos; o nível de reservas cambiais; a balança comercial; a taxa de inflação; a taxa de juros; a estabilidade monetária; o mercado de capitais; a arrecadação de impostos (federais, estaduais e municipais) e o nível de distribuição de renda, entre outros. (VASCONCELLOS FILHO, 1985).

As condições econômicas mutáveis são excelentes indicadores das prioridades das organizações. Contudo, uma organização não pode ter certeza da real contribuição que cada parte faz para o todo e, já que os períodos de dificuldade econômica forçam as organizações a avaliarem suas prioridades e cortarem os excessos (caso existam), os critérios utilizados para estas avaliações é que constituem as variáveis-chave (HALL, 1984).

#### **4.1.3 Variáveis de Mercado**

Em qualquer ambiente empresarial ou industrial, as variáveis de mercado, alcançam as variáveis de Tecnologia. Estas exercem um papel significativo na determinação dos produtos, dos serviços, dos equipamentos e de como diversas operações serão administradas (STONER, 1985).

A tecnologia de substituição é um componente do ambiente na medida em que as organizações precisam absorver e incorporar as inovações tecnológicas externas em seu interior. É também parte interna das organizações na medida em que é pesquisada, desenvolvida ou transferida e aplicada internamente para atingir objetivos organizacionais. Desse modo, produtos substitutos são variáveis de mercado que influencia o comportamento das organizações e uma variável interna, através da qual a organização influencia o seu ambiente e as demais organizações nele inseridas.

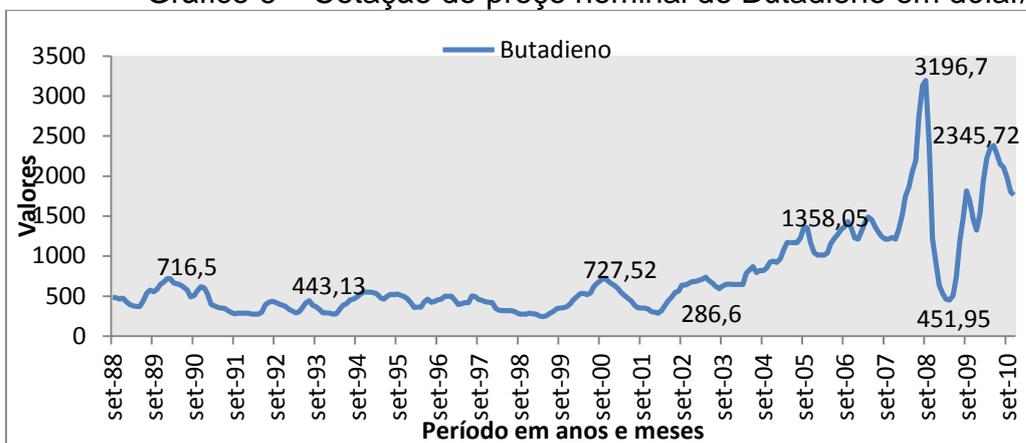
De posse destes dados, o próximo passo é o estudo da variável de Mercado que representa o elemento de análise deste estudo. No item a seguir está apresentada uma descrição desta variável de mercado (preço da *commodity* do butadieno).

#### **4.2 Análise do preço da *commodity* (variável primária)**

A etapa seguinte foi examinar a Variável primária, o objeto de estudo desta pesquisa, que é o conjunto de preços da *commodity* do butadieno. Para esta análise, foram utilizados como referência os preços do Butadieno, com base nos dados do

*ICIS pricing*, referente ao preço médio mensal do butadieno. O Gráfico 6, apresenta a evolução dos preços nominais do butadieno, representado em dólar por tonelada.

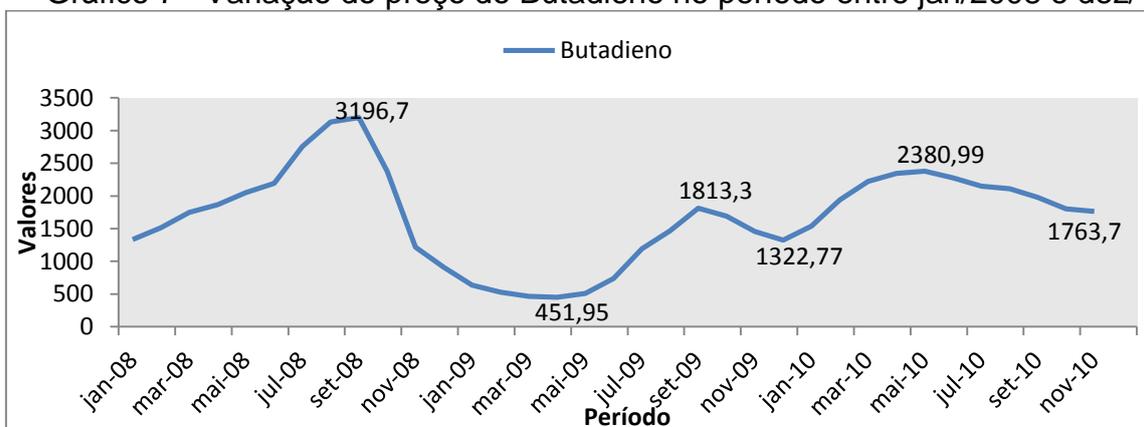
Gráfico 6 – Cotação do preço nominal do Butadieno em dólar/ton



Fonte: ICIS Pricing (2010)

Observa-se neste Gráfico que no período entre setembro de 1988 e setembro de 2001, apesar de haver variação, os preços mantiveram certa constância, e a partir desta data, houve uma forte elevação do preço da *commodity*, chegando ao ápice em dezembro de 2008, apresentando forte queda em junho de 2009, igualando aos preços de setembro de 2001, e voltando a subir a partir desta data. Para uma melhor visualização, o Gráfico 7 apresenta especificamente o período a partir de janeiro de 2008:

Gráfico 7 - Variação do preço do Butadieno no período entre jan/2008 e dez/10



Fonte: ICIS Pricing

Embora estes valores possam ser deflacionados por diversos índices, o uso de qualquer índice em particular seria arbitrário, e não seria possível encontrar um

índice ideal de deflação para a série histórica. Portanto, a partir desta observação, decidiu-se usar os valores nominais da série histórica.

Com referência ao objetivo “Detectar a existência ou não dos componentes estocásticos e/ou determinísticos de sazonalidade nos preços da *commodity* do butadieno”, considera-se que esta flutuação demonstra a presença de componentes estocásticos nos preços. Ao contrário dos processos determinísticos que são facilmente modelados e previsíveis, os processos estocásticos são regidos por fenômenos aleatórios, ou seja, as variáveis que seguem este tipo de processo mudam imprevisivelmente de trajetória no tempo, dificultando dessa forma a modelagem, inibindo o melhor apreçamento de um derivativo.

Evidências empíricas mostram que a volatilidade dos contratos futuros, como é o caso da *commodity* estudada é que se apresenta decrescente com a maturidade dos contratos. Ao mesmo tempo, sabe-se que o retorno de conveniência varia inversamente com o nível dos estoques. Portanto, considerá-lo constante é apenas uma aproximação. Seria correto então admiti-lo como uma variável estocástica. Assim, para descrever adequadamente o preço futuro de uma *commodity* são necessárias, pelo menos, duas variáveis estocásticas:  $S$  e  $d$ . Estas variáveis são denominadas variáveis de estado, não são observáveis e devem ser estimadas. A observação de  $F$  (preço futuro) permite esta estimação. A importância de definir o preço à vista está relacionada à necessidade de seu uso em modelos de valoração de ativos reais, planejamento de curto e longo prazo, decisão de proteção ou *hedging* e decisões de investimento de empresas e/ou instituições financeiras.

Analisando a série histórica, é possível observar a elevada volatilidade do preço da *commodity* do butadieno, sobretudo no último Gráfico, que atingiu o ápice de U\$ 2689,64/ton em dezembro de 2008, e em maio e junho de 2009, caiu para U\$ 551,16/ton, apresentando uma volatilidade negativa no semestre de 388%. E seis meses após, observa-se novamente um aumento, chegando a custar no mês de dezembro de 2009 o valor de U\$ 1499,14/ton. Um aumento de 172% no semestre. Outra vez em setembro de 2010, há uma mudança na concavidade da parábola apresentando novo ápice, U\$ 2072,34. Observa-se, assim, a volatilidade dos preços internacionais do butadieno, os quais sofreram variações significativas.

Como causa da elevação acentuada no ano de 2008, pode-se citar a crise mundial iniciada neste ano. Fatos como a quebra do quarto maior banco, o

americano Lehman Brothers, quando os principais Bancos Centrais do mundo injetaram bilhões de dólares no mercado para enfrentar a falta de liquidez e amenizar os impactos da crise. Milhares de demissões pelo mundo, prejuízo em milhares de empresas. Outro acontecimento que pode ter contribuído para o crescente aumento do butadieno, foi um terremoto que devastou o nordeste da China, sobretudo a província de Sichuan, uma das principais produtoras de petróleo, com quase 20 milhões barris por ano. Cita-se ainda, o crescimento nas prévias, sendo confirmado nas urnas do candidato Barack Obama para as eleições presidenciais americanas, entre outros.

### 4.3 Datação histórica do período de Referência

O objetivo desta terceira etapa é apontar os pontos críticos da série histórica do butadieno. Com base na análise dos dados do preço do butadieno, foram observados 15 pontos críticos relevantes no período estudado. Para ser considerado um ponto crítico relevante, arbitrou-se que a variação do preço teria de ser superior a 10% do valor do último ponto crítico, doravante chamado  $PC_n$ . A partir dos dados do butadieno, tem-se a Tabela 3:

Tabela 3 – Pontos críticos (PC) do Butadieno no período de set/88 a dez/2010

$PC_n$	Data	Valor	Direção da Mudança
0	Set/88	485,02	
1	Junho/89	369,27	
2	Maio/90	639,34	
3	Outubro/91	286,60	
4	Agosto/92	435,41	
5	Janeiro/94	286,60	
6	Setembro/95	524,70	
7	Maio/96	432,11	
8	Maio/97	418,88	
9	Maio/99	253,53	
10	Dezembro/00	661,39	
11	Fevereiro/02	286,60	
12	Julho/03	622,81	
13	Setembro/08	2380,99	
14	Agosto/09	1466,07	
15	Novembro/10	1763,70	

Fonte: Organização do autor

O primeiro PC-1 tem-se, a partir dos dados, que o preço do butadieno, partiu de U\$ 485,02/ton em setembro de 1988, e decresceu 23,84% em 7 meses. No período que antecede esta queda, observa-se, a possibilidade do republicano George Bush vencer as eleições americanas, contra o democrata Michael Dukakis, gerando uma instabilidade política mundial. Aliado a isto, o fim da Guerra entre os produtores de petróleo Irã-Iraque, iniciada em 1980, sinalizava o fim, o que ocorreu em agosto desse mesmo ano, deixando mais de um milhão de mortos, gerou maior segurança mundial. Outro fato importante na política e economia mundial, ocorrido no início do ano de 1989, foi a retirada das tropas da então União Soviética do Afeganistão.

Observa-se a partir destes fatos, que esta volubilidade de acontecimentos permitiu uma considerável estabilidade política a partir de maio, quando o Cenário político mundial, permitiu a queda do preço do butadieno.

O segundo Ponto crítico da curva do Butadieno (PC-2), se dá logo após a posse de Bush em julho de 1989. Fatos como a Queda do Muro de Berlim (ato simbólico que marcou o fim da Guerra Fria), em novembro, a Revolução Romena, e a saída dos soldados soviéticos de Cabul, são fatos que podem ter contribuído para o crescente aumento do preço da *commodity* até maio de 1990.

Entre maio de 1990 e outubro de 1991, o preço do butadieno tem uma redução de 57%, numa constante queda, ao tempo que o petróleo apresenta leve variação entre subidas e descidas. Neste momento ocorre PC-3. O crescimento industrial da China a partir da década de 90, que passa a produzir ampla variedade de bens e serviços. Em agosto o Kuwait é anexado ao Iraque como província e, em seguida, ocorre a reunificação da Alemanha. Os estoques de petróleo estão em alta, e a tendência é de queda dos preços dos derivados.

No início de 1991 a Guerra do Golfo, parece que não teve força suficiente para impor ao petróleo e seus derivados um aumento. Entre julho e novembro deste ano, o petróleo apresentou sinais de elevação, mas não passou de 16%, e logo voltou ao preço inferior ao de julho.

Em outubro de 1991, o Butadieno alcançou o menor preço de toda a série histórica, com marca de U\$ 275,58/ton, retomando uma subida, que só teria fim em

agosto de 1992. Nesses 10 meses, houve um incremento de 56% no preço da *commodity*. Neste período, houve o fim da URSS e a renúncia do presidente Mikhail Gorbachev, no fim de 1991. Era o início da crise cambial da América Latina. Fatos que formaram o PC-4.

Os fatos que antecedem o PC-5, em agosto de 1992 são: o estabelecimento da União Europeia mediante a assinatura do Tratado de Maastricht, em 07 de fevereiro de 1992; e o fim da Guerra entre as Coreias, oficialmente em guerra desde 1950, com o Ratificado o tratado de não agressão e desnuclearização. Além destes episódios, Boris Yeltsin assume o cargo de chefe do Exército da Federação Russa por iniciativa própria.

Durante o ano de 1993, o preço da *commodity* se estabiliza, com pequenas alterações entre aumentos e quedas no preço, chegando ao preço mínimo do período em janeiro de 1994, pouco depois do exército russo leal a Boris Ieltsin assaltar o Parlamento, numa operação que termina com centenas de mortos e a prisão dos líderes da resistência ao Presidente.

Entre janeiro de 1994 e setembro de 1995, há um aumento de 67% no preço da mercadoria. O PC-6 é marcado por um mundo turbulento, e em polvorosa: A ONU faz pressão na Coreia do Norte, impondo inspeção internacional no programa nuclear, mas é bloqueada. Sarajevo é alvo da guerra da Bósnia. Mandela torna-se o primeiro presidente negro da África do Sul; há um genocídio em Ruanda, iniciado pelo seu presidente e o presidente do Burundi.

Navios americanos desembarcam em Seul, capital da Coreia do Sul, um carregamento de mísseis antimíssil Patriot. Em maio deste ano, entra em vigor o embargo total ao Haiti decidido pela ONU. Na Rússia, Boris Yeltsin envia tropas para a Chechênia. E na América, começa a investigação do escândalo Whitewater. Para desviar a atenção do mundo, Bill Clinton põe fim ao embargo imposto ao Vietnã em 1975. No final de 1994 teve início a crise na economia Mexicana.

Em 1995, o ano começa com Yitzhak Rabin, Hosni Mubarak, Yasser Arafat e o rei Hussein, reunidos no Cairo, para condenar os atos terroristas que põem em causa o processo de paz para o Oriente Médio. A ONU envia tropas para Angola para mediar o conflito entre o Movimento Popular pela Libertação de Angola (MPLA)

e a União Nacional pela Independência Total da Angola (UNITA). Em Tóquio, 5 atentados ao metrô de Tóquio. Este é o Cenário mundial que elevou o preço da *commodity*. Os mercados internacionais estavam retraídos por conta da desvalorização do peso mexicano.

O Ponto crítico, PC-7, ocorreu no final de 1995 e 1996. A partir de então, nova retração no preço do butadieno. O mundo estava em aparente paz. Houve o avanço dos pneus radiais, de maior durabilidade que os pneus convencionais, uma inovação no mercado automobilístico. Houve pouca variação no preço da *commodity*. Neste período houve a retomada da produção de Seringueiras no Brasil, e a China, em seis anos dobra o consumo de borracha natural em relação a 1990.

Os fatos que caracterizaram o PC-8 são: o ano de 1997 foi marcado pelo início da *crise financeira* dos países do sudeste asiático, ocorrida em função de problemas macroeconômicos experimentados pelos mesmos a partir do segundo semestre. A crise se formou a partir da crise mexicana, e atingiu com destaque a Coreia do Sul, Filipinas, Indonésia, Malásia e Tailândia, todos, países em desenvolvimento (RADELET; SACHS, 2001).

Iniciada na Tailândia com o colapso financeiro, o governo tornou o câmbio flutuante, tornando massiva a fuga de capitais, inclusive no Brasil. Esta provocou o fim do crescimento econômico acima da média mundial pelo qual passaram estes países e a queda dos seus consumos de petróleo, que também cresciam a taxas superiores a da demanda mundial. Isto refletiu num imediato aumento no preço da *commodity*, no entanto o petróleo permaneceu estável. Neste período houve uma inversão do fluxo de capitais: dos U\$ 93 bilhões que entravam, saíram neste período U\$ 12 bilhões.

Para Franco (2000), além do aperto monetário, foram empreendidas medidas para eliminar as restrições aos fluxos de capitais ao mesmo tempo em que foram realizadas intervenções no mercado de derivativos relativos à taxa de câmbio, um dos importantes canais de transmissão de crise entre os países.

A mudança do ponto crítico PC-9 ocorreu em 1998, quando a crise financeira iniciada no primeiro semestre chegou ao Japão, e houve a redução do seu produto industrial, ocasionando a redução da demanda por petróleo neste país, que já havia

tido um crescimento negativo entre 1997 e 1998. A crise financeira dos tigres asiáticos tornou-se crise econômica, e a Indonésia teve uma redução do PIB de 15%, a Malásia e a Tailândia de 10%. O barril do petróleo caiu para U\$ 9,80 em dezembro de 1998. Iniciou-se a crise russa. Com baixos índices de crescimento do PIB durante toda a década, a Rússia não teve fôlego para sair de uma economia planificada para uma economia de mercado, respingando no Brasil, que começou a enfrentar a crise em outubro desse ano.

Em 1999 a Rússia começa a se recuperar da crise (PC-10), e no Brasil, a partir de fevereiro passou a ter um regime de flutuação cambial. A crise apresentou sinais de queda em março desse ano. Neste período, o butadieno apresentou uma queda chegando a custar U\$ 286,60/ton (PC-10). Retomada do crescimento do preço do aço, após 2 anos em queda

Ainda caracterizando o Ponto crítico 10, ocorreu na passagem do milênio. As expectativas em relação aos usos da tecnologia criada foram excessivamente otimistas. Os consumidores, em grande parte por causa de hábitos, não incorporaram e utilizaram todo o potencial das tecnologias lançadas no mercado. Esperava-se, por exemplo, uma grande explosão nas vendas de produtos pela internet, mas questões culturais e receios sobre a segurança das transações frearam o desenvolvimento da prática. Em geral, os resultados esperados não se materializaram e muitas empresas só apresentaram prejuízos. A queda de rentabilidade das empresas da Nasdaq no biênio 2000-2001 resultou em revisões das expectativas. A falta de fundamentação para o elevado crescimento do valor das ações caracterizou a formação da bolha, tese defendida por Shiller (2001). Os preços do aço não se sustentam e volta a cair. Observou-se neste ano o primeiro sintoma da crise: a acumulação de estoques.

Em 2001 (PC-11), o Nacional Bureau of Economic Research (NBER), uma organização americana de pesquisas econômicas, declarou no final de 2001 que a economia norte-americana entrara em recessão em março daquele ano. Um desdobramento de uma crise iniciada um ano antes quando o mercado de ações entrou em colapso, o estouro da bolha da Nasdaq. O Federal Reserve System (FED) iniciou o processo de queda de juros para atacar a nascente recessão em 2001. Uma consequência foi o direcionamento de capitais para o setor imobiliário,

considerado uma alternativa segura em tempos de grande volatilidade nas bolsas de valores. O crescimento do setor imobiliário norte-americano esteve intimamente relacionado à expansão do crédito, provocada pelos baixos juros e inovações financeiras, especialmente a securitização e o desenvolvimento de mercados secundários líquidos para esses títulos. No final desse ano, a economia retoma o processo de crescimento. Havia também uma grave situação financeira e muitas concordatárias.

Neste período, qualquer notícia sobre o petróleo, gerava demanda especulativa do produto no mercado futuro, gerando um fenômeno de maior volatilidade, ampliando a incerteza sobre cotações futuras.

Em 2001, é assinado o Tratado de Nice, que alterava o tratado CECA (Comunidade Europeia do Carvão e Aço) ao comércio do carvão e do aço, visando regular o preço destas mercadorias. Ainda em 2001, nos EUA, seis unidades siderúrgicas foram fechadas representando cortes de capacidade de cerca de 13 milhões de toneladas de laminados planos. É realizada a I Reunião de Alto nível, entre a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD) e 40 países para a redução da capacidade da produção mundial do aço para adaptá-lo à demanda.

No ano de 2002, após 50 anos de existência, caduca o Tratado de CECA. No início do ano é realizada a III Reunião de Alto nível dos países produtores de aço que estipulou até o final deste ano uma redução entre 78,6 a 82,6 milhões de toneladas (BNDES, 2002). Em junho desse ano, a borracha natural teve um aumento de 30,67% em relação a maio. A principal contribuição desse aumento foi do dólar, que variou 22,31%, acompanhado de uma variação na taxa de câmbio de 8,36%.

Em 2003 (PC-12), houve aumento do plantio de seringueiras no sudeste da Ásia, visto que o mercado da borracha estaria esquentando. Início da segunda fase de redução do preço do aço: 2003 a 2005 – de 24,9 a 34,9 milhões de toneladas.

No ano de 2004, houve o aumento de 90% no preço do aço, puxado pela China que aumentou vertiginosamente o consumo. Em 2005, os principais mercados

siderúrgicos passaram por turbulências preocupantes. Havia estoque excessivo do produto, que acarretou na retração das vendas das usinas e excessiva flutuação dos preços, com reflexos negativos no mercado internacional. Já no 3º trimestre, os Indicadores voltaram a se estabilizar e o ano fechou em posição salutar (VICENTE, 2006).

Os números finais da passagem dos furacões Katrina (agosto/2005) e Rita (setembro/2005) foram 113 plataformas totalmente destruídas e 52 severamente danificadas e interrupção de 25% da produção de petróleo do Golfo do México (103 milhões barris). No abastecimento (*downstream*), o custo da interrupção na oferta de derivados foi o equivalente a 6,9 milhões barris/dia, seja pela falta de petróleo para processamento, seja pela danificação direta das refinarias e da rede de distribuição (EIA, 2007).

Em 2006 aparecem os primeiros dados preocupantes, apontando para uma dilatação insensata do crédito em direção a credores com estruturas financeiras conflitantes os comprometeros assumidos. O ambiente de tensão e dúvida restringiu o volume de operações. O fato que efetivaria a crise, veio em agosto de 2007 quando banco francês BNP Paribas divulgou o congelamento de saques em três fundos investimentos com elevada participação de CDOs gerados a partir de operações imobiliárias. O reflexo imediato foi a redução do crédito, agravando a condição de muitos devedores, que necessitavam de novos empréstimos para pagar os serviços da dívida adquirida. Diversas medidas foram tomadas pelos bancos centrais dos países desenvolvidos para injetar maior liquidez nos mercados, o FED retomou a queda de juros e o tesouro norte-americano negociou com as instituições financeiras um pacote de medidas mudando regras e congelando os juros de algumas hipotecas. Em 2008, a crise econômica influencia o preço do aço (PC-13).

A produção de bens que utilizam a borracha natural como matéria-prima, inclusive a pneumática, reduziu consideravelmente em vários países sendo mais acentuada entre setembro de 2008 e março de 2009. Em dezembro de 2008 a borracha natural sofre uma redução de 25,71%, que acompanhou a taxa de câmbio que reduziu 2,19 (SOARES *et al*, 2013).

No período de 1995 a 2001, ocorreram 26 eventos, sendo 2 de alta intensidade (nenhum de categoria máxima), que resultaram na interrupção do fornecimento de 4,6 bilhões de barris de petróleo no Golfo do México. No período decorrido entre os anos de 2002 a 2007 ocorreram trinta e cinco eventos, dos quais 9, foram considerados de alta intensidade, e destes, 4 de intensidade máxima, os quais sejam: Isidore (2002), Ivan (2004), Katrina (2005), Rita (2005) e Dean (2007). A perda na produção de petróleo neste período foi da ordem de 6 bilhões de tróleo, um valor 29% superior ao período 1995-2001 (Brasil, 2008).

No fim de 2008(PC-14), a crise financeira alcançou o aço, com uma retração de 9,1% na produção. A região da Ásia como um todo apresentou queda de 5,1% na oferta de aço em setembro, com total de 60,4 milhões de toneladas, embora na Europa e BRIC, não se tenha sentido este efeito (RIBEIRO, 2008).

Entre 2001 e 2005, os preços da borracha sintética subiram 138%. Além de ser determinada no mercado livre, os preços da borracha também pode ser definido por meio de acordos comerciais diretos, através de contratos de longo prazo (IRSG,2013). Além disso, os preços da borracha foram influenciados por diferentes intervenções no mercado, tanto a nível nacional e internacional. Por exemplo, alguns programas nacionais, utilizando estratégias de estoques tiveram um impacto sobre os mecanismos de descoberta de preços internacionais (por exemplo, Tailândia). Da mesma forma, a criação de um sistema de gestão da oferta conjunta na Organização Internacional Rubber Tripartite (ITRO) pode ser visto como uma nova força motriz, a este respeito, com a possibilidade, desde 2003 a intervir no mercado a fim de estabilizar os preços se necessário (este mecanismo não tenha sido utilizado até agora, devido ao crescimento do mercado).

Em 2009, o presidente Barack Obama, inicia o seu segundo mandato no auge da crise econômico-financeira mundial. Na Venezuela, o aprovou a reeleição presidência da República. Ao mesmo tempo, no Brasil, a Petrobrás realiza a primeira extração de petróleo da camada pré-sal do campo de Tupi. No Irã Mahmoud Ahmadinejad, é eleito presidente, enquanto uma série de protestos populares ganha repercussão mundial, principalmente através da Internet, devido às suspeitas de fraude nos resultados.

Em meados desse ano (PC-15), acontece a primeira Reunião dos BRICs em Ecatemburgo, na Rússia, cuja pauta sugere ter mais voz e representação nas instituições financeiras internacionais. A ênfase, porém do encontro, foi voltada para a cooperação para a reforma do sistema financeiro mundial. O Tratado de Lisboa, que prevê nova função política e funcionamento da UE ocorreu em Dezembro. Nesse Cenário, o petróleo fecha em baixa, de olho na retração, por causa do aumento dos estoques.

O ano de 2010 inicia-se e a República Popular da China alcança mais um recorde como maior exportadora de produtos do mundo. Por sua vez a Europa é fortemente castigada com muita neve e ventos gelados causando inúmeras mortes e muitos acidentes. Em abril desse ano, um sismo de 6,9 na escala de Richter atinge a China deixando cerca 1,9 mil mortos e 10 mil feridos. No Golfo do México (EUA) ocorre a explosão da British Petroleum (BP) e forma mancha de petróleo em expansão que configura um dos maiores desastres ambientais da história dos Estados Unidos. Quase um mês após o acidente, a BP anuncia ter conseguido estancar temporariamente o derrame de petróleo. Ao mesmo tempo, no Sudeste da Ásia, acontece a frutificação do plantio de seringueiras que fora plantado em 2003.

Após os choques do petróleo, ajustaram-se duas novas tendências: a resposta ativa de política energética dos países importadores e o aumento da produção não-OPEP. Ambas as tendências configuraram uma importante mudança: a transformação das condições de base desta indústria de um contexto de oferta limitada e concentrada em um número restrito de países e demanda crescente para um novo contexto caracterizado por oferta excedente e demanda estabilizada (PINTO JUNIOR e FERNANDES, 1998).

Entre as políticas adotadas pelos EUA destacam-se: O reforço das relações bilaterais com os países do Golfo Pérsico (especialmente com a Arábia Saudita) e a utilização de práticas de estoques estratégicos, alocados em casos de "emergência". Esta última desenvolvida no âmbito da OCDE, a partir do final de 1974, em resposta ao embargo do petróleo. O resumo desses acontecimentos históricos estão dispostos no Quadro 9:

Quadro 9 – Resumo dos fatos históricos no período entre 1988 e 2010

	<b>Período</b>	<b>Fatos históricos</b>	<b>Causas</b>
<b>PC-1</b>	Setembro/88 a Junho/89	Eleição americana Retirada das tropas russas do Afeganistão Fim da Guerra Irã-Iraque	Política
<b>PC-2</b>	Junho/89 a Maio/90	Bush assume o Governo Americano Fim da Guerra Fria Revolução romena	Política
<b>PC-3</b>	Maio/90 a Outubro/91	Oscilação do preço do Petróleo Início do crescimento industrial na China Reunificação da Alemanha	Econômico e Político
<b>PC-4</b>	Outubro/91 a Agosto/92	Renúncia de Mikhail Gorbachev Início da Crise cambial na América Latina	Econômico
<b>PC-5</b>	Agosto/92 a Janeiro/94	Estabelecimento da União Europeia Fim da Guerra entre as Coreias Crise na Rússia	Político
<b>PC-6</b>	Janeiro/94 a Setembro/95	Diversos conflitos e possibilidades de conflitos no mundo: Sarajevo, Ruanda, Chechênia, Haiti. Crise cambial mexicana Retração dos mercados internacionais	Político e Econômico
<b>PC-7</b>	Setembro/95 a Maio/96	Avanço dos pneus radiais. Retomada do plantio de seringueiras no Brasil	Mercado
<b>PC-8</b>	Maio/96 a Maio/97	Prenúncio da crise financeira Aumento do consumo de borracha natural na China	Econômico e Mercado
<b>PC-9</b>	Maio/97 a Maio/99	Fuga de capitais da Ásia	Econômico
<b>PC-10</b>	Maio/99 a Dezembro/00	Recuperação da Rússia da Crise Recuperação da Crise econômica Crescimento do preço do aço	Econômico Mercado
<b>PC-11</b>	Dezembro/00 a Fevereiro/02	Bolha na Bolsa da Nasdaq Recessão Americana Volatilidade no preço do petróleo Fechamento de 6 siderúrgicas americanas	Mercado Econômico
<b>PC-12</b>	Fevereiro/02 a Julho/03	Redução da capacidade mundial do aço Aumento do preço da borracha natural Elevação da área de plantio da RN	Mercado
<b>PC-13</b>	Julho/03 a Setembro/08	Desastre natural nos EUA Aumento do preço do aço Redução do crédito ao consumidor	Econômico Mercado
<b>PC-14</b>	Setembro /08 a Agosto/09	Ápice da Crise financeira Redução do preço da Borracha natural Retração na produção do aço	Político Econômico
<b>PC-15</b>	Agosto/09 a Novembro/10	Início do segundo mandato de Obama Mahmoud Ahmadinejad assume no Irã China se torna a maior exportadora do mundo	Econômico Político

Fonte: Organização do autor

Em resumo, os Pontos críticos do preço do butadieno tem a seguinte distribuição dos PC's: 1, 2, 3, 5, 6, 14 e 15 estão associados principalmente a fatores políticos. Na verdade, este fator, apresenta forte influência dos outros fatores,

refletindo variações dos fatores econômicos e de mercado. Os pontos críticos 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14 e 15 dizem respeito ao fator Econômico, e por fim, os itens 7, 8, 10, 11, 12 e 13 são aderentes ao fator mercado.

#### **4.4. Seleção das variáveis e desenvolvimento do questionário**

Esta quarta etapa representa que, a partir da análise da variável primária e da datação histórica de Referência, foi possível identificar quais seriam as variáveis secundárias que teriam maior influência na variação de preço do butadieno. A ideia foi elaborar um questionário, baseado na experiência dos especialistas que trabalham com o mercado de *commodities* e direcioná-lo especificamente, para profissionais que compreendem as flutuações das cotações de petróleo e derivados, dentre estes, com o Butadieno.

Assim, foi possível o desenvolvimento do questionário, alicerçado em 12 variáveis primárias que, segundo os especialistas, mais influenciam na formação da *commodity*. Estas variáveis foram coletadas, referente ao período de 1988 a 2010, mensalmente, perfazendo 276 observações de cada variável, exceto daquelas que só são fornecidas anualmente.

Quanto ao questionário em si, como os resultados de cada questionamento deveriam buscar uma maior ou menor influência do item perguntado às variações de preço do Butadieno, não teria sentido apenas responder 'sim', ou 'não', para que determinado item influenciasse, ou não, estas variações. Diante desta constatação, preferiu-se criar uma escala de conceitos, que, na realidade, estivesse intrínseca a uma escala de valores. Desta forma, adotaram-se, como escala de conceitos, em uma escala *Likert* de 5 pontos, os seguintes termos:

a) Escala A: o item não possui nenhuma relação com a variação de preços do Butadieno;

b) Escala B: o item possui pouca relação com a variação de preços do Butadieno;

c) Escala C: o item possui alguma relação com a variação de preços do Butadieno;

d) Escala D: o item possui muita relação com a variação de preços do Butadieno;

e) Escala E: o item possui total relação com a variação de preços do Butadieno.

Diante da definição dos itens que iriam compor o questionário e a escala adotada, construiu-se uma Tabela simples, para que o entrevistado não criasse grandes resistências e pudesse ir diretamente ao ponto que era o objetivo da pesquisa, aliado a não tomar muito tempo do entrevistado.

A grande dificuldade enfrentada na pesquisa foi que apenas cerca de 18% dos questionários enviados em forma de Tabela foram respondidos e nenhum questionário aberto foi respondido, de um total de 210 e-mails enviados às empresas e profissionais que trabalham no mercado futuro e financeiro, no Brasil e exterior. Nota-se a grande dificuldade em se fazer pesquisa, sobretudo no Brasil, onde o retorno dos questionários é baixíssimo. Desta forma, optou-se em estabelecer as relações de dependência causal entre as variáveis, a partir da literatura aqui apresentada, a fim de se criarem os arcos entre “pais” e “filhos”, da Rede Bayesiana e, portanto, gerando toda a estrutura de grafos (Anexo 3).

Concluída esta etapa, a próxima trata da verificação das relações entre as questões e entre as respostas dadas ao questionário. Para tanto, foi necessário a validação do questionário, que será abordado no próximo item.

#### **4.5 Validação do Questionário**

Para validação desta pesquisa foi usado o índice Alfa de *Cronbach*, que é uma estimativa “lower-bound” da confiabilidade de uma medida (Crocker; Algina, 1986), pela qual, há baixa probabilidade de o valor encontrado ser menor que o valor expresso. O Quadro 10 apresenta os níveis de confiabilidade recomendados por diversos autores. Os valores apontados servem de ponto de partida, e não de critério de classificação:

Quadro 10 - Critérios de confiabilidade estimada para o Alfa de *Cronbach*

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Condição</b>	<b>Alfa Aceitável</b>
Davis	1964	Previsão individual Previsão para grupos entre 25-50 indivíduos	$\alpha > 0,75$ $\alpha > 0,50$
Kaplan & Sacuzzo	1982	Investigação fundamental Investigação aplicada	$0,7 < \alpha < 0,8$ $\alpha \sim 0,95$
Murphy & Davidsholder	1988	Inaceitável Baixa Moderada Moderada a elevada Elevada	$\alpha < 0,6$ $0,6 < \alpha < 0,7$ $0,7 < \alpha < 0,8$ $0,8 < \alpha < 0,9$ $\alpha > 0,9$
Nunnaly	1978	Preliminar Fundamental Aplicada	$\alpha \sim 0,7$ $\alpha \sim 0,8$ $0,9 < \alpha < 0,95$

Fonte: Adaptado de Peterson, 1994

O alfa de *Cronbach* da pesquisa apresentou um valor de  $\alpha = 0,806$ , com os 12 itens da pesquisa, calculado através do SPSS, conforme Tabela 4, que aponta a Estatística de confiabilidade, e, portanto, é confiável sob o ponto de vista de todos os autores supracitados.

Tabela 4 – Estatística de Confiabilidade

Alfa de <i>Cronbach</i>	Nº de itens
0,806	12

Fonte: Resultado da pesquisa

No entanto, é possível aumentar esta confiabilidade. Para isto é necessário que o valor do Alfa de *Cronbach* seja aumentado. Isto se faz, excluindo-se itens em que haveria maior variação de escala. A Tabela 5 aponta as Estatísticas do total.

Tabela 5 – Estatística do item-total

	Média de escala se o item for excluído	Varição de escala se for excluído	Correlação de item total corrigida	Correlação múltipla ao quadrado
Zscore (V 1)	0E-7	38,841	,491	,619
Zscore (V 2)	0E-7	37,539	,606	,706
Zscore (V 3)	0E-7	38,538	,518	,696
Zscore (V 4)	0E-7	41,404	,277	,503
Zscore (V 5)	0E-7	39,418	,442	,551
Zscore (V 6)	0E-7	37,881	,575	,550
Zscore (V 7)	0E-7	37,541	,606	,532
Zscore (V 8)	0E-7	38,290	,539	,424
Zscore (V 9)	0E-7	38,955	,481	,560
Zscore (V 10)	0E-7	42,314	,204	,596
Zscore (V 11)	0E-7	37,698	,546	,545
Zscore (V 12)	0E-7	37,224	,634	,678

Fonte: Resultado da Pesquisa

Após a exclusão da variável 11 (variável Armazenagem) tem-se um novo alfa de *Cronbach*, cujo valor é igual a 0,823, conforme Tabela 6:

Tabela 6– Estatística de item-total para 11 variáveis

Estatísticas de item-total	
Alfa de <i>Cronbach</i> se o item for excluído	
Zscore (V 1)	,788
Zscore (V 2)	,778
Zscore (V 3)	,786
Zscore (V 4)	,808
Zscore (V 5)	,793
Zscore (V 6)	,781
Zscore (V 7)	,778
Zscore (V 8)	,784
Zscore (V 9)	,789
Zscore (V 10)	,814
Zscore (V 11)	,823
Zscore (V 12)	,775

Fonte: Resultados da pesquisa

Assim, com a elevação do critério de confiabilidade, o alfa de *Cronbach* encontrado, torna-se um valor com maior confiança para todos os autores citados (DAVIS, 1964, KAPLAN; SACUZZO, 1982, MURPHY; DAVISHOLDER, 1988, NUNNALLY, 1978). A partir daí, pôde-se observar a classificação de três grupos principais, os quais respondem por 67% das informações dos questionários, que estão descritos na Matriz de Componente Rotativa (Tabela 7), conforme havia sido proposto inicialmente.

Tabela 7– Matriz de componente Rotativa

	Componente		
	1	2	3
Zscore(VAR00001)	,839		
Zscore(VAR00002)	,861		
Zscore(VAR00003)	,836		
Zscore(VAR00004)		,846	
Zscore(VAR00005)		,807	
Zscore(VAR00006)	,446	,474	
Zscore(VAR00007)	,648	,427	
Zscore(VAR00008)		,618	
Zscore(VAR00009)			,808
Zscore(VAR00010)			,873

Zscore(VAR00012)	,528	,599
Método de extração: Análise do Componente principal. Método de rotação: Varimax com normalização de Kaiser. <sup>a</sup>		

a. Rotação convergida em 4 iterações.

Fonte: Resultados da pesquisa

Observados a formação destes grupos, distribuíram-se as 11 variáveis classificando nas três estruturas já citadas, cada uma composta por 3 a 4 variáveis, conforme a Tabela 8. As estruturas são: Econômica, Política e Mercado.

Tabela 8 – Estruturas encontradas a partir do Alfa de *Cronbach*

Grupo	Variáveis	Carga fatorial	Estrutura
1	1 - PIB	0,839	Econômica
	2 - Atividade Econômica	0,861	
	3 - Procura / Oferta	0,836	
	7 - Petróleo	0,648	
2	4 - Taxa de câmbio	0,846	Sócio-Política
	5 - Conflito	0,807	
	6 - Crise financeira	0,474	
	8 - Possibilidade de conflito	0,618	
3	9 - Borracha Sintética	0,808	Mercado
	10 - Borracha Natural	0,873	
	12 - Aço	0,599	

Fonte: Resultado da pesquisa

A partir desta nova classificação foi possível identificar a equação matriz para a previsão dos preços das *commodities*:

Figura 13– Representação das estruturas do estudo

$$Z_i = \sum_{i=1}^3 a_i x_i + l_i$$

Onde:

$Z_i$  representam o somatório das 3 estruturas

$a_i$  são as variáveis dependentes (comunalidades)

$l_i$  são as variáveis independentes

Fonte: Resultado da pesquisa

#### 4.6 Construção da Rede Bayesiana

Os 38 questionários recebidos dos especialistas se encontram no Anexo 4, deste estudo. A Tabela 9 apresenta as respostas em forma de Escala *Likert* de 5 pontos para cada respondente. As colunas representam as Perguntas, expressas

por  $P_x$ , onde 'x' varia entre 1 e 12, conforme as perguntas da Tabela 7, e nas linhas estão as questões respondidas por cada especialista. Estes estão representados pela letra  $Q_y$ , onde 'y' é o respondente do questionário cujo intervalo está entre 1 e 38. As respostas foram dadas seguindo a Escala de representação do questionário aplicado, e estão expressas na Tabela 8:

Tabela 9 – Escala de representação do questionário aplicado

Escala	Representação
A: o item não possui nenhuma relação com a variação de preços do Butadieno	1
B: o item possui pouca relação com a variação de preços do Butadieno;	2
C: o item possui alguma relação com a variação de preços do Butadieno;	3
D: o item possui muita relação com a variação de preços do Butadieno;	4
E: o item possui total relação com a variação de preços do Butadieno.	5

Fonte: Resultado da Pesquisa

A partir dos dados tabulados, e conforme representação acima, os dados foram transformados, em fatores (Anexo 3). A partir desses resultados, estabeleceu-se o equivalente conceitual em forma de valores, variando entre 0 e 1, a saber:

- a) Escala A: Nenhuma relação = 0 (zero);
- b) Escala B: Pouca relação = 0,25;
- c) Escala C: Alguma relação = 0,50;
- d) Escala D: Muita relação = 0,75;
- e) Escala E: Total relação = 1,00 (um)

Desta forma, tomou-se para cada entrevistado e em cada pergunta, o equivalente conceitual da escala, em valor matemático, representando, como resultado (Anexo 3). Assim, para cada item, representado em sua questão, somaram-se os valores e os resultados foram colocados na linha "Soma". A Média aritmética é calculada para cada pergunta  $P_n$ , pelo quociente entre a soma dos valores dispostos em  $Q_n$ , isto é, 38 questionários, arredondando para duas casas decimais.

$$\text{Média aritmética} = \sum_1^{38} P_n / Q_n \quad (13)$$

Esta Média representa o percentual que confirma se aquele item possui, ou não, alguma influência sobre a variação de preços do Butadieno. Em outras palavras, a Média representa a porcentagem de “Sim”, que influencia o preço do Butadieno. O complementar, ou seja, o “Não” é a unidade menos o “sim”. Para que houvesse maior credibilidade nos resultados encontrados, e nas variáveis propostas, validou-se os itens através do Alfa de *Cronbach*, que está descrito no Quadro 11.

Diante dos resultados obtidos, transformados em dados numéricos, será possível estruturar a formalização da Rede Bayesiana para o butadieno, que será melhor compreendido no item a seguir.

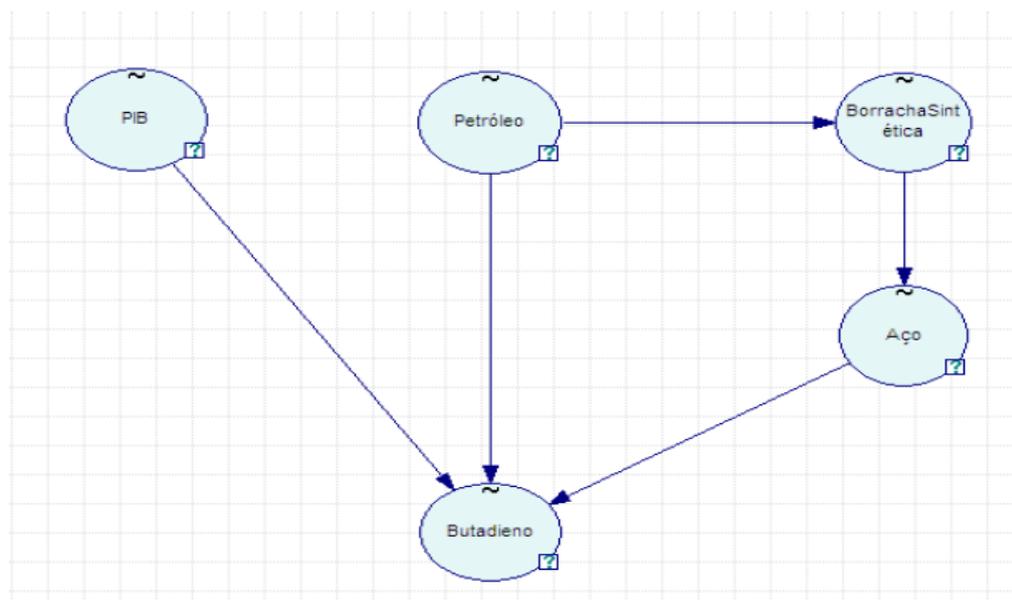
#### 4.6.1 Estruturação e formalização da Rede

A melhor forma de entender as Redes Bayesianas é procurar modelar uma situação na qual a causalidade desempenha um papel importante, mas onde o entendimento do especialista sobre o que realmente está ocorrendo não é muito claro, de forma que seja necessário descrever o problema de forma probabilística.

A rigor, as Redes Bayesianas são Gráficos Acíclicos Diretos (DAG – *Directed Acyclic Graphs*) compostos por nós e setas, ou seja, são grafos em que as setas possuem uma direção e uma vez especificada esta direção, a rede não retorna a um nó pai (um nó cuja seta se originou) e todos os nós são conectados na rede. Os nós são variáveis aleatórias, e serão representados por figuras circulares e valem premissas de independência entre elas. As variáveis aleatórias podem ser imaginadas como estados de um determinado assunto, podendo assumir estados *booleanos* (verdadeiro ou falso), valores discretos ou contínuos. As setas ou arcos especificam a relação de direta dependência entre duas variáveis aleatórias, suas relações de causa e efeito dentro do domínio. Estes efeitos não são completamente determinísticos, pois a “força” de um efeito é modelada como uma probabilidade:

A Figura 14 ilustra o início da Rede Bayesiana desenvolvida pelo *software* GeNIe 2.0 através do carregamento dos dados referentes as variáveis PIB, Petróleo, Borracha Sintética, Aço e Butadieno no período de setembro de 1988 até dezembro de 2009.

Figura 14 – Início da Rede Bayesiana



Fonte: Resultados da pesquisa

Segundo Korb e Nicholson (2004), a tecnologia de Redes Bayesianas é primeiramente direcionada ao tratamento de variáveis discretas, como por exemplo, para a confecção de algoritmos de inferência. Assim, as variáveis contínuas podem ser facilmente transformadas em variáveis discretas através de simples categorizações.

Dentro da terminologia de Redes Bayesianas, existem termos comuns que se referem na relação de dependência direta entre dois nós por meio do arco que os conecta. Assim, o nó de onde o arco parte é designado pai e o nó aonde o arco chega com sua ponta é designado filho. Um nó que não possui filho é chamado de folha e um nó que origina a rede que não possui pais é denominado raiz. Os nós antecedentes a um determinado nó A são chamados ancestrais de A. Analogamente, os nós derivados de um determinado nó A são denominados descendentes de A, por exemplo, a partir da Figura 14 tem-se a seguinte relação genealógica (Quadro 11):

Quadro 11 – Genealogia do início da Rede Bayesiana

Variáveis ou nós	Genealogia
PIB	Raiz Pai do Butadieno Ancestral do Butadieno
Petróleo	Raiz Pai do Butadieno Pai da Borracha Sintética Ancestral da Borracha Sintética Ancestral do Butadieno Ancestral do Aço
Borracha Sintética	Pai do Aço Ancestral do Aço Ancestral do Butadieno Filho do Petróleo Descendente do Petróleo
Aço	Pai do Butadieno Ancestral do Butadieno Filho da Borracha Sintética Descendente da Borracha Sintética
Butadieno	Folha Filho do Aço Filho do PIB Filho do Petróleo Descendente do Aço Descendente do PIB Descendente da Borracha Sintética Descendente do Petróleo

Outro elemento importante dentro da estrutura de Redes Bayesianas é a Tabela de Probabilidade Condicional (CPT). Para ilustrar, considere o conjunto de três variáveis A, B e C, todas dicotômicas (assumem valores binários), em que as variáveis A e B são ‘nós’ pais da variável C. Assim uma possível CPT é dada pela Tabela 10:

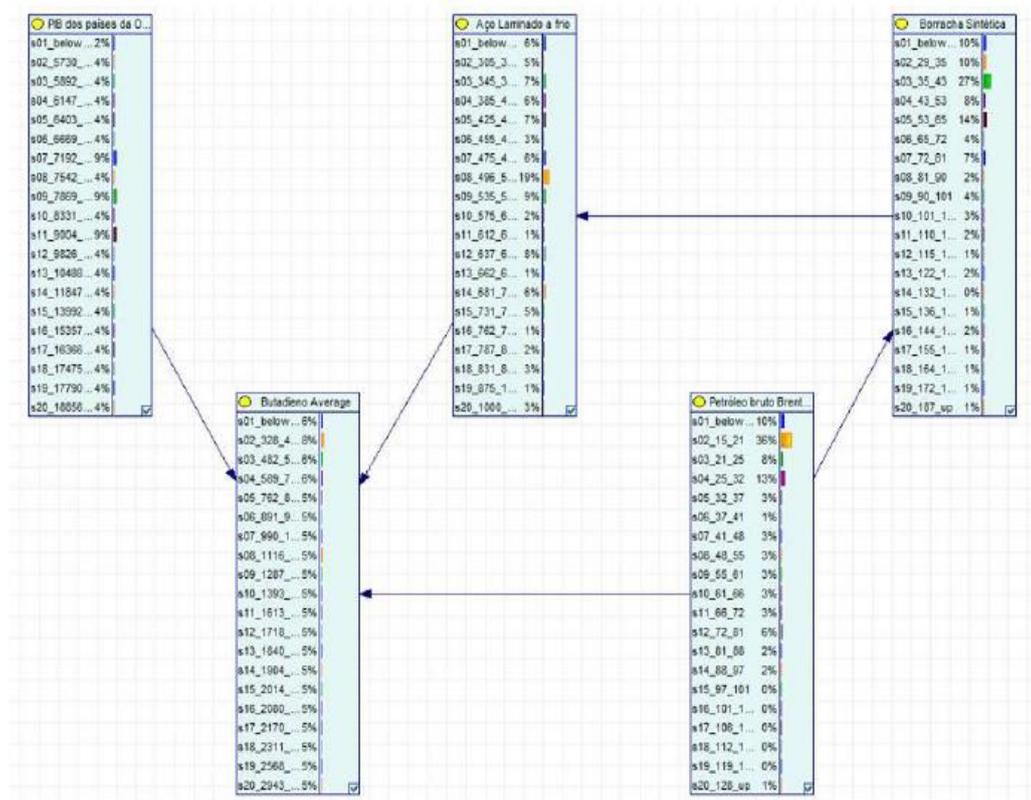
Tabela 10 – Tabela de Probabilidade Condicional (CPT)

C	A	B	$P(C A,B)$
1	1	1	$\theta_1$
1	1	0	$\theta_2$
1	0	1	$\theta_3$
1	0	0	$\theta_4$
0	1	1	$\theta_5$
0	1	0	$\theta_6$
0	0	1	$\theta_7$
0	0	0	$\theta_8$

Fonte: Souza, 2010.

Para ilustrar o uso deste elemento, na Figura 15 será considerada a Rede Bayesiana da Figura 14.

Figura 15 – Rede Bayesiana da Figura 14



Fonte: Resultados da pesquisa

Pode-se observar que as variáveis PIB, Aço e Petróleo influenciam diretamente a variável Butadieno enquanto o nó Borracha Sintética primeiramente sofre a influência do Petróleo para depois realizar implicações sobre Aço que, por sua vez, tem consequências sobre a faixa de valores que o Butadieno pertence.

Outro elemento importante dentro de uma RB é o que se chama evidência e faz referência ao fato de uma variável ser indicada pelo usuário da rede como conhecida, isto é, se sabe qual a observação da variável que ocorreu. Neste exemplo, se a intenção é determinar o preço do butadieno em um determinado mês, basta que seja assinalado a faixa de valores em que o PIB, o preço do Petróleo, o preço do Aço e o preço da Borracha Sintética pertencem, isto é tornar evidente o que se sabe de tais variáveis e então realizar o procedimento de inferência probabilística. É neste sentido, que o processo de evidência tem papel fundamental.

A construção de uma Rede Bayesiana não é trivial, por isso, exige cautela, além de existir vários métodos para a estimação de estruturas de rede através do conjunto de dados, os métodos podem ser influenciados por fatores como a ordem e a escolha das variáveis que compõem o problema. Então para que uma rede seja considerada 'adequada' é necessário que as relações (setas) expressem corretamente as dependências entre as variáveis.

Na seção seguinte está exposto o conceito de inferência (ou previsão) em redes bayesianas.

#### **4.6.2 Inferência em Redes Bayesianas**

Dentro da metodologia de Redes Bayesianas, o termo "inferência" é utilizado para referenciar a atualização de probabilidades por toda a estrutura da rede dado um conjunto de evidências.

Existem diferentes tipos de redes cada qual com sua particularidade, isto é, cada uma com certa quantidade de nós (variáveis aleatórias) e com uma determinada estrutura de dependência fixada, logo as inferências probabilísticas podem ser realizadas de formas variadas. À medida que existe um grande número de variáveis e estruturas mais complexas, existe grande dificuldade no cálculo das probabilidades da rede.

Marques e Dutra (1999) consideram que existe maior dificuldade quando o problema é modelado de uma forma complexa, ou seja, quando a estrutura considerada para a inferência possui relações complexas entre as variáveis. Neste sentido, é possível perceber que o mais importante dentro do conceito de RB é o estabelecimento de uma estrutura adequada, que possa transmitir de forma realista as dependências entre as variáveis e que não torne lento o treinamento da rede. Neste caso, o termo "treinamento" pode ser descrito como o "processamento" da rede, isto é, o cálculo das probabilidades da variável de interesse dado o conjunto de evidências.

Há ainda algoritmos que buscam prever uma estrutura para a RB. A estruturação através deste método leva em conta as correlações existentes entre as variáveis de estudo. A realização de uma estrutura de forma computacional é aconselhada quando o pesquisador não possui conhecimentos consistentes sobre a relação de dependência das variáveis que compõem o estudo.

Então o desenvolvimento de algoritmos que possam realizar a inferência (de estrutura e probabilística) de uma maneira rápida e eficiente é um tema que movimenta as pesquisas científicas. Assim, considerando as estruturas mais comuns, existem dois tipos de algoritmos para realizar a inferência probabilista: os algoritmos exatos e os algoritmos aproximados. Os algoritmos exatos produzem resultados mais satisfatórios, porém um alto número de variáveis na rede. Os algoritmos aproximados, por sua vez, são construídos através de métodos de simulação, tendo uma precisão inferior, porém com maior velocidade de processamento comparado aos algoritmos exatos.

Neste trabalho, é utilizado como algoritmo de inferência probabilística, o algoritmo exato *clustering*. Este algoritmo tem como característica o funcionamento em duas fases: primeiro ocorre a compilação da rede modelada para uma estrutura de árvore, logo após são atualizadas as probabilidades na árvore gerada no primeiro passo. Desta forma, todo o processamento ocorre na versão compilada, o que costuma melhorar o desempenho. Para resolver os diagramas de influência no grafo foi utilizado o algoritmo conhecido como *Policy Evaluation*, que permite verificar as probabilidades de cada estado das variáveis que compõem a rede, e não somente a melhor decisão, essa característica possibilita a análise das causas para a decisão que a rede apresenta.

Não serão explorados os detalhes de um algoritmo de inferência de qualquer natureza, nesta pesquisa, mas é importante expor que o tutorial do *software* GeNIe 2.0 foi referência importante para se chegar aos dados finais.

No próximo item, será realizada a estruturação de uma Rede Bayesiana para inferir sobre o preço da *commodity* butadieno a curto e médio prazo, é exibido em detalhes todo procedimento de coleta de dados e de estruturação da rede, além da exibição dos resultados obtidos.

### 4.6.3 Estruturação e Treinamento da Rede

O objetivo principal deste item, é treinar uma Rede Bayesiana para inferir sobre o preço da *commodity* butadieno em curto e médio prazo com o auxílio do *software* GeNIe 2.0. Como já foi descrito, a estruturação de uma RB exige cautela e um estudo oneroso da correlação dos dados, por este motivo, em algumas ocasiões, os próprios pesquisadores que projetam o procedimento de amostragem, impõem a estrutura da RB diante do conhecimento *a priori* da variável de estudo. Uma alternativa é avaliar as variáveis que se pretende estudar e utilizar um algoritmo adequado para realizar a previsão.

Após a coleta dos dados e diante da análise dos questionários, além da falta de dados suficientes e intermitentes para dar andamento a este, decidiu-se trabalhar com dez variáveis, que segundo seu conhecimento, possuem uma maior influência sobre a cotação da *commodity* de interesse, são elas: preço do butadieno, preço do aço laminado a frio, PIB dos países da OPEP, preço bruto do petróleo, atividade econômica e balança comercial, taxa de câmbio, conflitos da OPEP, crise financeira, preço da borracha sintética e possibilidade de conflito da OPEP. A Figura 16 ilustra os dados coletados em uma tela do Excel 2007.

Figura 16 – Conjunto de dados

Mês	Butadieno Average	Aço Laminado a frio	PIB dos países da OPEP	Petróleo bruto Brent Price (E.U. dólares por barril)	Atividade econômica e Balança comercial	Taxa de câmbio	Conflito OPEP	Crise financeira	Borracha Sintética	Possibilidade de conflito
set/88	485,02	530,00	5613,31	13,35	1	1	1	0	48,55	1
out/88	476,75	530,00	5613,31	12,28	1	1	1	0	43,31	1
nov/88	462,97	530,00	5613,31	12,92	1	1	1	0	48,34	1
dez/88	473,99	540,00	5613,31	15,1	1	1	1	0	49,95	1
jan/89	432,66	540,00	5848,23	16,36	1	1	0	0	50,66	1
fev/89	396,83	545,00	5848,23	16,74	1	1	0	0	51,01	1
mar/89	376,99	550,00	5848,23	18,68	1	1	0	0	49,4	1
abr/89	369,27	550,00	5848,23	19,87	1	1	0	0	49,88	1
mai/89	391,32	560,00	5848,23	18,46	1	1	0	0	46,26	1
jun/89	440,92	560,00	5848,23	17,57	1	1	0	0	42,90	1
jul/89	540,13	560,00	5848,23	17,69	1	1	0	0	42,87	1
ago/89	575,96	550,00	5848,23	17,12	1	1	0	0	41,00	1
set/89	555,56	550,00	5848,23	17,8	1	1	0	0	39,50	1
out/89	584,22	550,00	5848,23	19,03	1	1	0	0	38,65	1
nov/89	644,85	550,00	5848,23	19,21	1	1	0	0	37,90	1
dez/89	672,41	540,00	5848,23	19,85	1	1	0	0	37,89	1
jan/90	719,26	530,00	6358,31	21,25	1	1	0	0	37,73	1
fev/90	716,5	520,00	6358,31	19,33	1	1	0	0	38,68	1
mar/90	661,39	510,00	6358,31	18,37	1	1	0	0	37,58	1
abr/90	655,87	500,00	6358,31	16,49	1	1	0	0	38,01	1

Fonte: Resultados da Pesquisa

Estes são uma amostra da compilação de todos os dados pesquisados. Algumas são variáveis discretas, outras contínuas, ainda não tratadas. No Anexo 5,

é discutida a construção da Rede Bayesiana com o auxílio do *software* GeNIe 2.0, a partir do qual são estudados os cenários de inferência.

#### 4.6.4 Cenários de Inferência

##### Cenário 1

Em um primeiro momento, realizou-se o treinamento da rede através dos dados obtidos de setembro de 1988 até dezembro de 2009 com o objetivo de inferir sobre a cotação do butadieno em junho de 2010 (6 meses após o último dado coletado) e novembro de 2010 (11 meses após o último dado coletado) e comparar com o resultado real (Figura 17):

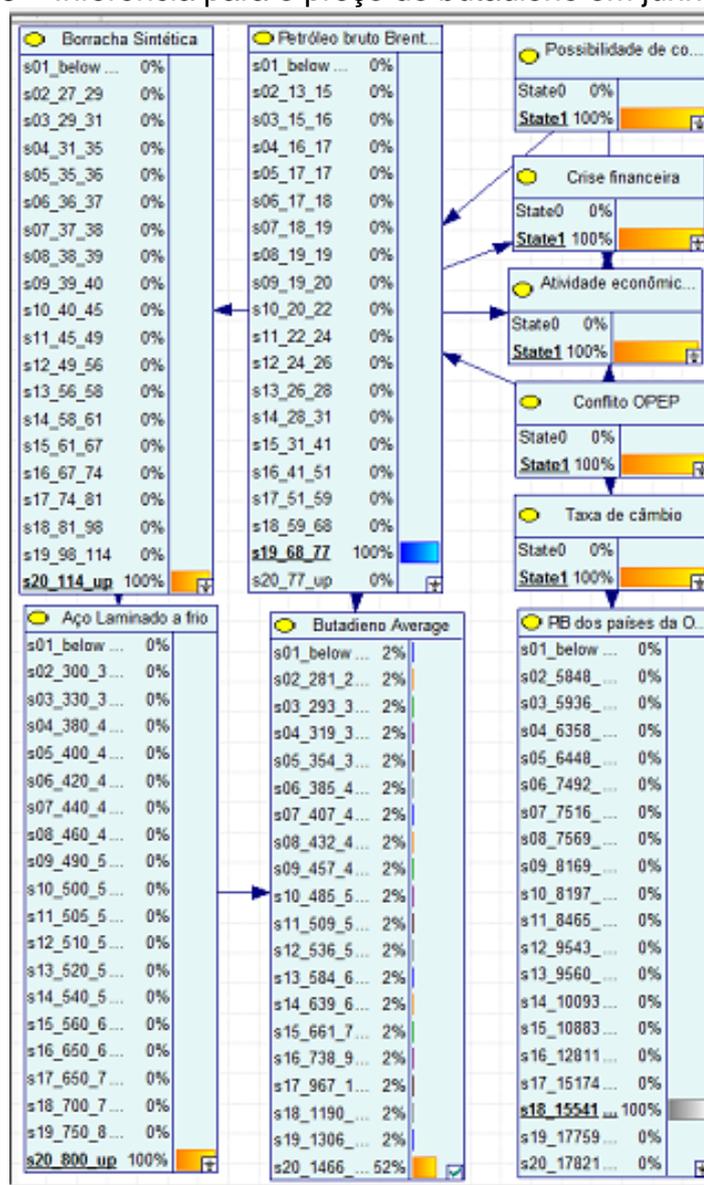
Figura 17– Dados reais do ano de 2010

Mês	Butadieno Average	Aço Laminado a frio	PIB dos países d	Petróleo bruto Brent Price (E.U. dólares por barril)	Atividade econômica Balança comercial	Procura e oferta	Taxa de câmbio	Conflito OPEP	Crise financeira	Borracha Sintética	Possibilidade de conflito
dez/09	1322,77	700,00	15174,08	74,67	1	1	1	1	1	127,47	1
jan/10	1537,72	700,00	17191,15	76,37	1	1	1	1	1	139,79	1
fev/10	1940,07	700,00	17191,15	74,31	0	1	1	1	1	141,87	1
mar/10	2221,15	775,00	17191,15	79,27	0	0	1	1	1	151,44	1
abr/10	2345,72	812,50	17191,15	84,93	0	0	1	1	1	179,09	1
mai/10	2380,99	850,00	17191,15	76,25	1	0	1	1	1	166,91	1
jun/10	2276,27	850,00	17191,15	74,84	1	1	1	1	1	161,74	1
jul/10	2147,3	850,00	17191,15	74,74	1	0	1	1	1	148,51	1
ago/10	2110,92	850,00	17191,15	76,69	1	0	1	1	1	150,42	0
set/10	1978,65	850,00	17191,15	77,79	1	0	1	1	1	160,24	0
out/10	1803,38	850,00	17191,15	82,92	1	0	1	1	1	178,02	0
nov/10	1763,7	850,00	17191,15	85,67	1	1	1	1	1	195,32	0
dez/10		850,00	17191,15	91,8	1	0	1	1	1	215,28	1

Fonte: Resultado da pesquisa

Para a previsão em 6 meses, por exemplo, foi realizado a pesquisa no período que compreende os meses entre janeiro de 1988 a novembro de 2010) os valores que as variáveis assumiram em junho de 2010 e então selecioná-las (evidenciá-las). A Figura 18 mostra o resultado desta previsão.

Figura 18 – Inferência para o preço do butadieno em junho de 2010

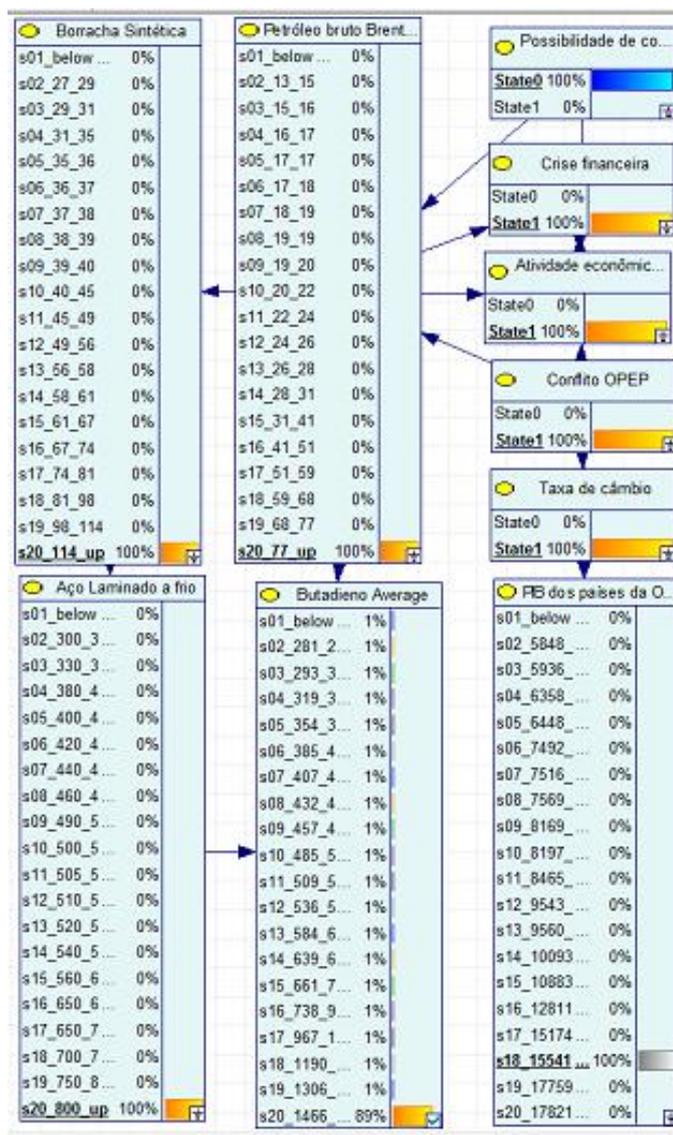


Fonte: Software GeNIe 2.0

Para a previsão em um período de 11 meses, foi realizado o mesmo procedimento, porém, agora foram selecionados outras informações relativas à novembro de 2010. Na Figura 19 é possível observar o resultado da inferência.

Como se pode perceber a partir dos dados dessa figura, a faixa de valor com a maior probabilidade não inclui o valor real do butadieno, logo os resultados não são satisfatórios. E novamente percebe-se que o procedimento não obteve sucesso, uma vez que o valor real do butadieno não pertence ao intervalo com maior probabilidade exibido pela rede.

Figura 19 - Inferência para o preço do butadieno em novembro de 2010



Fonte: Software GeNIe 2.0

Diante de tais resultados, realizou-se um estudo dos dados relativos a variável butadieno e observou-se que os dados reais desta *commodity* sofreram oscilações bruscas no período de outubro de 2007 a novembro de 2010, período em que o mundo sofria com a crise econômica. Eventos desta natureza não podem ser previsto, embora atualmente estudos científicos busquem inferir sobre tais fenômenos. A crise trouxe consigo variações altas na cotação do butadieno o que tornou o procedimento de inferência tendencioso, levando a resultados incertos.

Observa-se que os resultados obtidos com o treinamento da rede levando em conta este período de depressão eram esperados, uma vez que, a metodologia de RB leva em conta a correlação das variáveis e o comportamento dos dados ao longo

do tempo. Desta forma, inferências eficientes só serão obtidas após um período relativamente longo de estabilidade na cotação desta *commodity*.

Na Figura 20 é possível visualizar a aleatoriedade das cotações no período especificado:

Figura 20 – Cotação do butadieno no período de janeiro de 88 a novembro de 2010



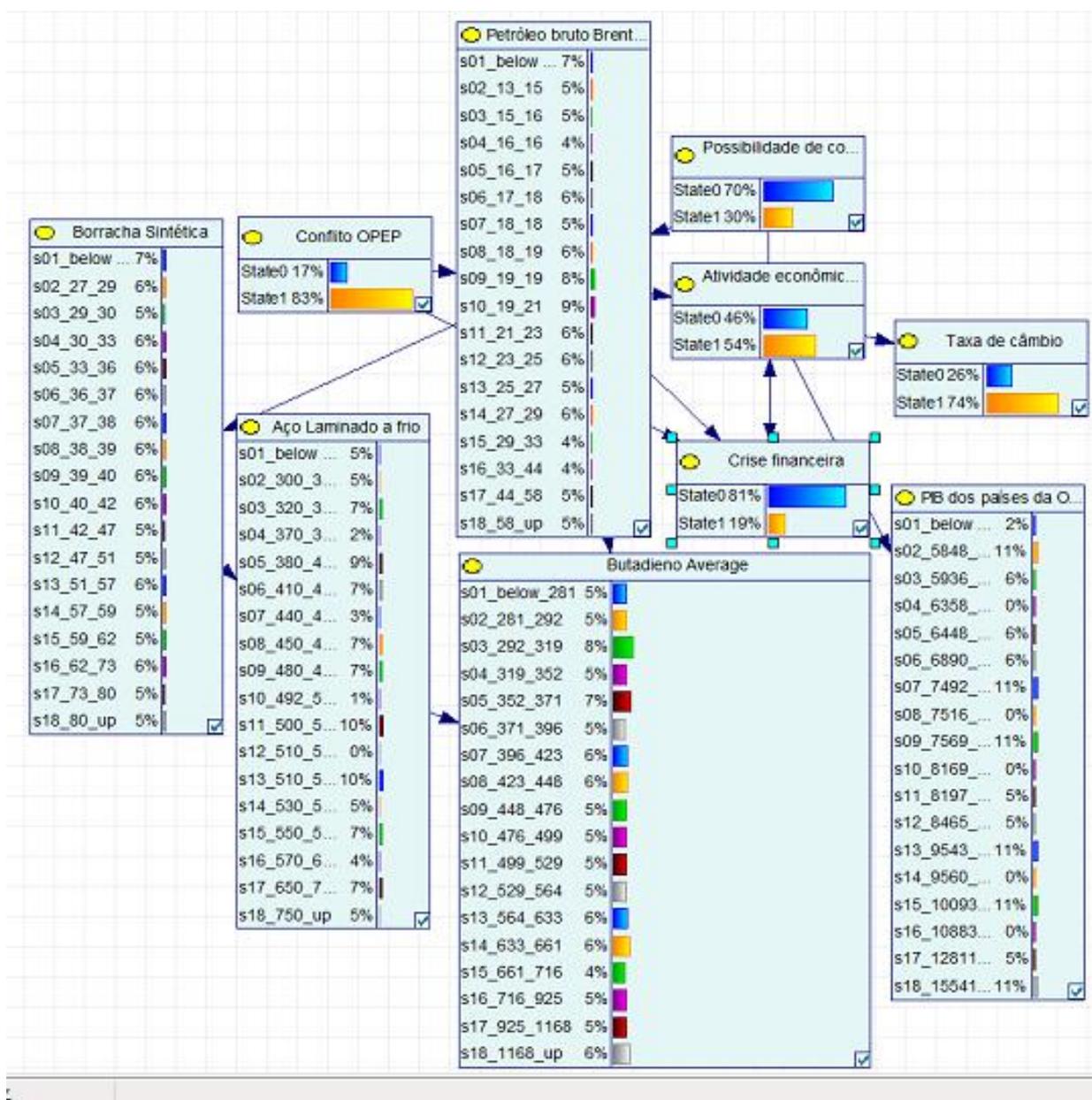
Fonte: Software GeNle 2.0

## Cenário 2

Para garantir a eficiência do método, realizou-se o mesmo procedimento de inferência com os dados de setembro de 1988 a dezembro de 2006, com o objetivo de inferir em relação ao preço do butadieno em junho de 2007 (6 meses após o último dado coletado) e dezembro de 2007 (12 meses após o último dado coletado) e depois compará-los com os valores reais. Na Figura 21 é possível observar a Rede Bayesiana para os dados de setembro de 1988 a dezembro de 2006.

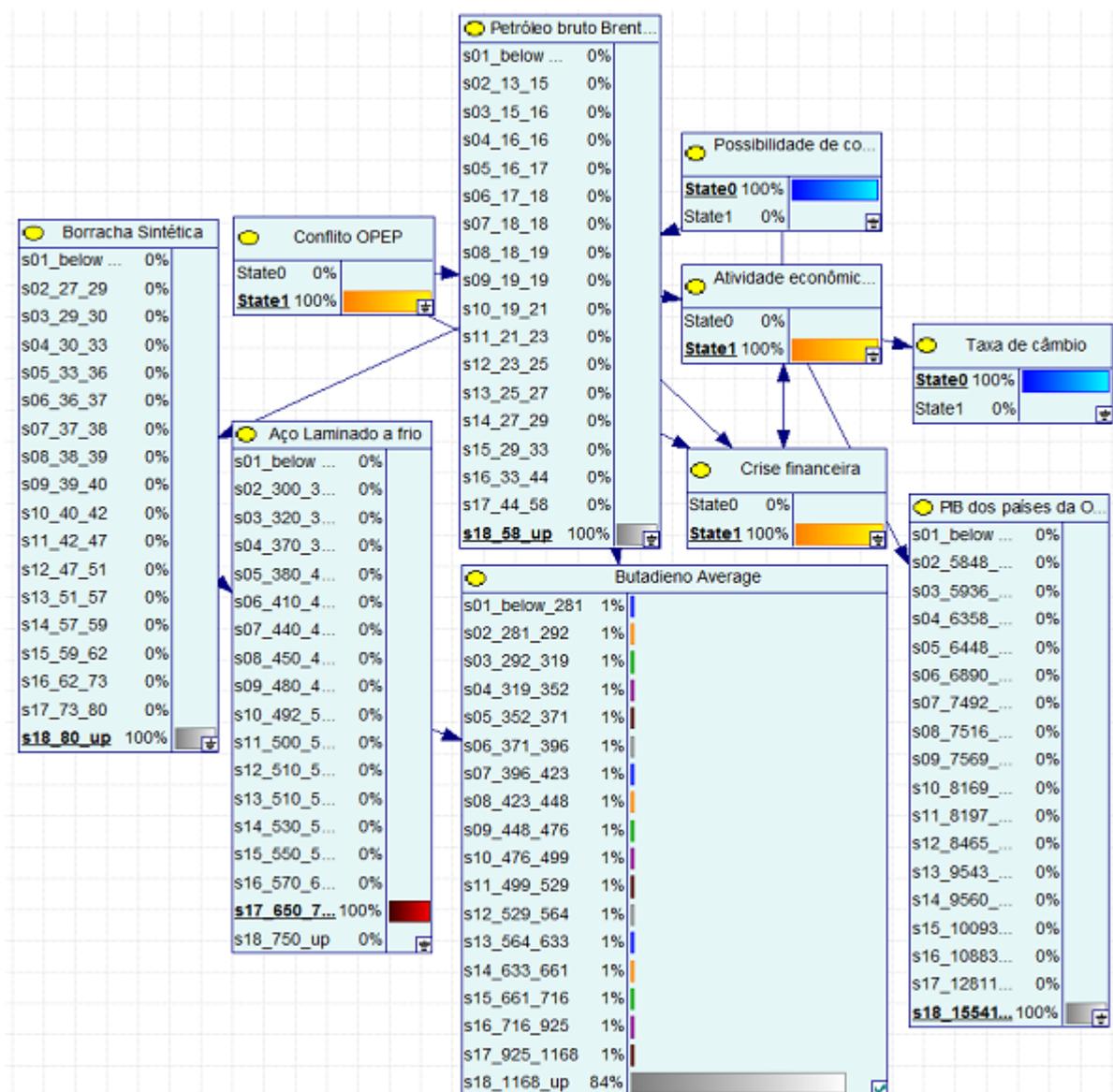


Figura 22 - Inferência para o preço do butadieno em junho de 2007



Fonte: Software GeNIe 2.0

Figura 23 – Inferência para o preço do butadieno em dezembro de 2007



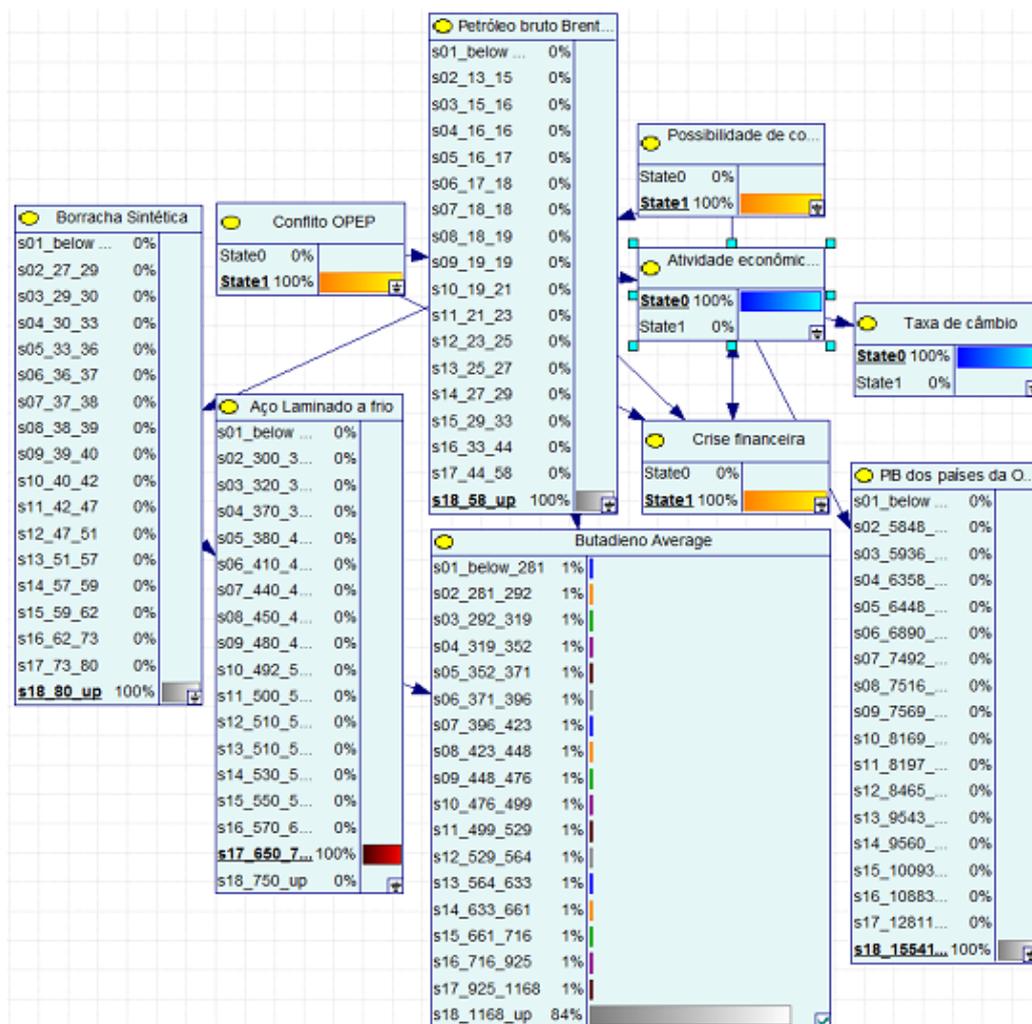
Fonte: Software GeNIe 2.0

Nota-se que com 84% de chances, o valor futuro do butadieno pertence ao intervalo acima de 1168 em junho de 2007. Ao comparar estes intervalos com os valores reais da *commodity* é possível verificar que os valores reais pertencem aos intervalos especificados. Portanto, os resultados são satisfatórios.

Porém é importante ressaltar que o valor de 84% é elevado. Para que haja uma distribuição mais uniforme das probabilidades e conseqüentemente uma maior coerência na previsão é sugerido que seja realizado um deflacionamento dos dados de cunho monetário. Para realizá-lo basta selecionar um índice comum de inflação como o IPCA ou IGP, fixar um ano, por exemplo, 1988 e realizar o procedimento de

deflação. Em geral, este procedimento é realizado após a coleta de dados, e é fundamental para previsões mais precisas.

Figura 24 – Resultado da inferência



Fonte: Software GeNIe 2.0

Verificou-se anteriormente que em períodos em que os dados de certa variável apresentam uma variação alta, a previsão por RB não apresenta resultados satisfatórios, porém, ainda quer-se utilizar desta metodologia para inferir acerca do preço do butadieno entre junho e novembro de 2010, por exemplo, período este em que se presenciou falhas na previsão. Para solucionar este tipo de problema, é necessário realizar a suavização do período de alta volatilidade. Técnicas como *bootstrap*, pode ser uma boa alternativa, elas são baseadas em simulações e buscam avaliar a incerteza dos estimadores, utilizando, para isto, técnicas de reamostragem com reposição.

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A falta de uma frequência nos comportamentos das *commodities* vem alargando a faixa de projeções, trazendo incertezas e riscos para o planejamento. O principal problema das *commodities* são as grandes flutuações de preço que ocorrem, em geral, em curto espaço de tempo, em função de aspectos mercadológicos e conjunturais, gerando incerteza de renda para os seus participantes, como gestores, armazenadores, atacadistas, exportadores e processadores das *commodities*.

Os preços dessa *commodity* são instáveis, principalmente por serem produzidos por economias emergentes, permitindo assim que as instabilidades econômicas do mercado doméstico dos principais produtores reflitam nos preços do produto. Autores como Diesprang, Jacobsen e Maat (2008) consideram que a previsibilidade é maior nos países desenvolvidos e que a subida do preço do petróleo tem como impacto a redução da rentabilidade das ações no futuro.

Pesquisas voltadas à previsão de preços são direcionadas a apresentar, o *timing* do melhor investimento. Trabalhos sobre os efeitos da previsão de preços não são raros, no entanto, a proposição da previsão de preço de *commodity* com o uso de Redes Bayesianas, é inédito. A motivação desta pesquisa está relacionada a dois pontos fundamentais que foram norteadores para a pesquisa proposta neste trabalho. Primeiro, caracterizar as pesquisas até então estudadas, como necessárias e importantes em função das características institucionais e econômicas intrínsecas ao mercado internacional. Além disto, pretendeu-se apresentar as Redes Bayesianas como alternativa viável para chegar aos objetivos propostos.

Neste capítulo, é apresentada uma discussão dos resultados alcançados de acordo com os objetivos traçados no estudo. Primeiramente, será discutido o objetivo principal que foi a proposição da construção de uma ferramenta de apoio à decisão que possa prever, periodicamente, o preço futuro de uma *commodity* em curto e médio prazo. Uma das estratégias do mercado de ações para reduzir o impacto destas variações é o uso de técnicas de previsão que minimizem os seus efeitos através de análise dos fatores causadores. Embora não haja um padrão único e universal para a formulação de previsões, faz-se necessário à criação de um

esboço para que se possam identificar os agentes responsáveis pela volatilidade e flutuações dos preços no mercado. Isto se dá a partir da construção correta de modelos estatísticos.

A previsão é um dos objetivos das análises quantitativas em economia, e em conjunto com a teoria econômica, utiliza-se de diversas técnicas de previsão para auxiliar na tomada de decisões por parte dos agentes envolvidos em atividades que necessitam de planejamento, avaliação de políticas e redução da incerteza. As previsões econômicas, por sua vez, objetivam reduzir as incertezas, sobretudo num mercado tão volátil como é o das *commodities*. Neste sentido, foi realizado o levantamento junto a especialistas de quais seriam as variáveis de maior influência. Foram levantadas aquelas que apresentam maior grau de influência na variação do preço da *commodity*. Cada variável foi discutida e descrita. A partir de então elaborou-se um questionário de 12 questões, enviado a especialistas através de e-mails, obteve-se 38 questionários respondidos. A partir do Alfa de *Cronbach*, o questionário foi validado e para que houvesse um melhor resultado, duas das variáveis foram desconsideradas. Este questionário foi a base para a etapa futura, que classificou essas variáveis em 3 grupos. Destarte será discutida sobre as Redes Bayesianas em si.

Neste Cenário de perspectivas quanto à adoção de medidas de previsão de preços se configura como uma das consequências econômicas que os investidores esperam trazer ao mercado. Assim, este trabalho se justifica, em parte, como um instrumento mensurador de resultados de diversas técnicas de previsão de preços de *commodities*, e apresentando as Redes Bayesianas como a que melhor representa resultados de preços futuros a curto e médio prazo.

É ponto de conversão, sob todos os aspectos, a ideia de que a *commodity* do butadieno tem como fator de variação pujante, a variação do preço do petróleo. Então a partir deste ponto, será feito um estudo do petróleo como variável que mais influencia o preço da *commodity*.

Esta pesquisa desenvolveu um estudo de Cenários que permitiu a visualização mundial de como se encontravam alguns dos principais países envolvidos com a produção/comercialização da *commodity*, durante o período

pesquisado. A Análise de Cenários é uma ferramenta muito utilizada quando a proposta é o gerenciamento estratégico dos riscos. A partir de Cenários propostos, é possível fazer previsões em curto, médio e longo prazo, de modo a maximizar os rendimentos financeiros e a minimização das exposições totais aos riscos.

Ainda que este Cenário proposto seja parcial, é compreendido como instrumento de apoio à decisão, e deve envolver as variáveis mais acentuadas da situação, eliminando as situações passadas, focando em Cenários futuros que estejam nos limites do conhecimento científico, e propondo transformações viáveis no período de tempo estimado. Aqui estão descritos dois Cenários principais: o primeiro em um momento de intensa oscilação mundial relativa a economia, política e mercado. O segundo em um momento de aparente estabilidade. Assim, pretende-se discutir todos os resultados encontrados.

## 5.1 Discussão das variáveis

Para Neapolitan (2004), a técnica de Redes Bayesianas surgiu em um contexto onde há um grande número de variáveis e o objetivo é de verificar qual a influência probabilística não direta de uma variável para as demais.

Para a construção da Rede Bayesiana proposta nesta pesquisa, utilizou-se de variáveis macroambientais, para que se conhecessem as que mais importavam, na variação do preço da *commodity* estudada. Estes fatores foram escolhidos a partir de critérios como: Aderência – Capacidade da variável em captar e alterar o fenômeno (alterar o preço da *commodity*); Relevância – Capacidade da variável em traduzir e influenciar o fenômeno; Disponibilidade de dados – Inclui-se neste item periodicidade e atualidade dos dados; Comportamento e consistência – Em relação ao fenômeno.

O objetivo da classificação desses fatores nas estruturas citadas foi facilitar a compreensão da natureza da flutuação dos preços da *commodity* e desenvolver uma ferramenta capaz de identificar as tendências dos preços das *commodities* pg95

A partir da discussão das variáveis, o estudo identificou três grupos de variáveis que compõem as estruturas que são decisivas para a variação do preço da *commodity* do Butadieno, as quais foram: variáveis econômicas, formadas pelas variáveis que dependem do Produto Interno Bruto (PIB), Atividade Econômica, Procura/Oferta e produção/distribuição de petróleo. O segundo grupo, as variáveis sócio-político, que são aquelas influenciadas por decisões políticas internacionais, ou que afetam a política externa de determinado país. Esta estrutura é formada pelas variáveis taxa de câmbio, conflito nos países produtores/comercializadores, crise financeira e possibilidade de conflito social. E, ainda, mas não menos importantes as variáveis de Mercado, formadas pelos produtos substitutos como o aço, a borracha sintética e a borracha natural.

A partir de então, passou-se para a análise das causas dos pontos críticos no preço da *commodity*. Realizou-se a datação dos acontecimentos no contexto mundial e como estes influenciavam tal variação. Considerando as 15 inflexões no preço do butadieno entre setembro de 1988 e dezembro de 2010, observa-se que todos os pontos foram antecipados por algum dos indicadores. Assim, a proposta do modelo é válida considerando as três estruturas estudadas.

No entanto, observou-se, que através da Análise Fatorial, a variável Crise financeira, apresentou na Matriz de Componente Rotativa, dois índices: tanto poderia entrar na classificação Econômica, quanto sócio-política, não obstante, tanto em um quanto na outra, sua carga fatorial ficou abaixo de 0,500. Para a classificação Econômica, seu score foi de 0,446 e para a classificação sócio-política, 0,474. Mesmo classificando a variável na maior carga fatorial, o resultado pareceu não ter tanta relevância, segundo os especialistas pesquisados, para responder o fenômeno estudado, o que é contestável no mercado financeiro real, uma vez que resultados mais próximos de 1 (um), mais substância para dar resposta ao fenômeno estudado.

Após esta fase, a Rede Bayesiana foi construída, no intuito de se descobrir as probabilidades que melhor respondessem à previsão. Depois de vários testes, chegou-se ao formato desejado apresentado. Só então se pôde estudar e analisar os diversos grafos gerados pelas várias situações que se apresentaram. Através da Análise Fatorial validou-se o modelo construído.

Através da Análise de Fator, observou-se o teste KMO e Barlett, que mensura o nível de adequação do tamanho da amostra no modelo. Resultados acima de 0,5 são considerados adequados. O teste para o modelo alcançou um resultado de 0,632, estando acima dos limites desejados, como mostra a Tabela 13:

Tabela 13 - Resultado do Teste de KMO e Barlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de amostragem.		,632
Teste de esfericidade de Bartlett	Chi-quadrado aprox.	188,935
	Df	66,
	Sig.	,000

Fonte: Resultados da pesquisa

Segundo o Tabela 14, o teste de esfericidade de Barlett, apresentou um grau de liberdade igual a 66 (Df = 66), O teste de Bartlett foi significativo [sig 0,000].

Tabela 14– Matrizes anti-imagem: Covariância e correlação

	Zscore( VAR000 01)	Zscore( VAR00 002)	Zscore( VAR00 003)	Zscore( VAR00 004)	Zscore( VAR00 005)	Zscore( VAR00 006)	Zscore( VAR00 007)	Zscore( VAR00 008)	Zscore( VAR00 009)	Zscore( VAR00 010)	Zscore( VAR00 012)	
<b>Cova riância anti- imagem</b>	Zscore(VAR00001)	,403	-,105	-,194	,104	-,068	-,002	,016	,035	-,078	-,020	,027
	Zscore(VAR00002)	-,105	,323	-,047	,140	-,032	-,168	-,132	-,021	,062	-,008	-,061
	Zscore(VAR00003)	-,194	-,047	,384	-,099	,086	-,016	-,079	-,058	,067	,073	-,114
	Zscore(VAR00004)	,104	,140	-,099	,521	-,194	-,160	-,062	-,103	,046	-,043	,000
	Zscore(VAR00005)	-,068	-,032	,086	-,194	,505	-,094	-,114	-,086	-,077	,104	,077
	Zscore(VAR00006)	-,002	-,168	-,016	-,160	-,094	,454	,062	-,012	,053	-,147	-,033
	Zscore(VAR00007)	,016	-,132	-,079	-,062	-,114	,062	,468	-,013	-,103	,096	-,048
	Zscore(VAR00008)	,035	-,021	-,058	-,103	-,086	-,012	-,013	,635	-,165	,058	-,031
	Zscore(VAR00009)	-,078	,062	,067	,046	-,077	,053	-,103	-,165	,449	-,237	-,145
	Zscore(VAR00010)	-,020	-,008	,073	-,043	,104	-,147	,096	,058	-,237	,535	-,090
	Zscore(VAR00012)	,027	-,061	-,114	,000	,077	-,033	-,048	-,031	-,145	-,090	,518
	<b>Correla ção anti- imagem</b>	Zscore(VAR00001)	,774 <sup>a</sup>	-,290	-,494	,227	-,150	-,004	,037	,070	-,184	-,044
Zscore(VAR00002)		-,290	,758 <sup>a</sup>	-,132	,340	-,080	-,438	-,340	-,047	,164	-,020	-,150
Zscore(VAR00003)		-,494	-,132	,755 <sup>a</sup>	-,221	,196	-,038	-,187	-,117	,161	,160	-,255
Zscore(VAR00004)		,227	,340	-,221	,537 <sup>a</sup>	-,379	-,330	-,125	-,179	,096	-,082	,000
Zscore(VAR00005)		-,150	-,080	,196	-,379	,719 <sup>a</sup>	-,197	-,234	-,151	-,163	,200	,152
Zscore(VAR00006)		-,004	-,438	-,038	-,330	-,197	,744 <sup>a</sup>	,134	-,023	,118	-,298	-,068
Zscore(VAR00007)		,037	-,340	-,187	-,125	-,234	,134	,821 <sup>a</sup>	-,024	-,225	,193	-,097
Zscore(VAR00008)		,070	-,047	-,117	-,179	-,151	-,023	-,024	,847 <sup>a</sup>	-,309	,099	-,054
Zscore(VAR00009)		-,184	,164	,161	,096	-,163	,118	-,225	-,309	,624 <sup>a</sup>	-,483	-,301
Zscore(VAR00010)		-,044	-,020	,160	-,082	,200	-,298	,193	,099	-,483	,534 <sup>a</sup>	-,171
Zscore(VAR00012)		,058	-,150	-,255	,000	,152	-,068	-,097	-,054	-,301	-,171	,846 <sup>a</sup>

Fonte: Resultado da pesquisa

Para esses dados o KMO acima de 0,5 e os valores variando entre 0,323 e 0,635 na matriz de correlações de anti-imagem indicam tamanho inadequado da amostra (estes valores de adequação amostral para cada variável estão assinalados com a letra "a" em sobrescrito na matriz de correlações de anti-imagem, não na matriz de covariâncias de anti-imagem). Os valores da matriz de correlações de anti-imagem mostraram elevados coeficientes, indicando alto nível de correlações parciais. Portanto, a realização da análise fatorial é apropriada.

Em seguida, foi analisado a Tabela de Comunalidades. Comunalidade é a proporção de variância comum presente numa variável. Para que haja redução das dimensões, é necessário saber qual o valor das variâncias dos dados obtidos é variância comum. No entanto, para se saber a extensão da variância comum é preciso reduzir as variáveis em dimensões. Assim, na análise dos componentes principais, é utilizado a variância total e assume-se que a comunalidade de cada variável é 1, conforme a segunda coluna do Tabela 15, transpondo os dados originais em componentes lineares constituintes:

Tabela 15 - Comunalidades

	Inicial	Extração
Zscore(VAR00001)	1,000	,725
Zscore(VAR00002)	1,000	,764
Zscore(VAR00003)	1,000	,719
Zscore(VAR00004)	1,000	,729
Zscore(VAR00005)	1,000	,699
Zscore(VAR00006)	1,000	,492
Zscore(VAR00007)	1,000	,604
Zscore(VAR00008)	1,000	,516
Zscore(VAR00009)	1,000	,718
Zscore(VAR00010)	1,000	,766
Zscore(VAR00012)	1,000	,643

Método de extração: análise do componente principal.  
Fonte: Resultado da pesquisa

A terceira coluna da Tabela 15 apresenta a carga fatorial de cada variável. Quanto mais próxima de 1, maior a carga, mais importante se torna a variável. Por fim, como já foi expresso anteriormente, é rodada a Matriz de Componente Rotativa (Tabela 7), que reclassifica as variáveis em novos grupos.

## 5.2 Discussão a respeito das Redes Bayesianas

No que tange à Rede Bayesiana, a dinâmica do mundo moderno, com constantes transformações econômicas, políticas e sociais que caracterizam os dias atuais têm despertado, no mundo acadêmico e empresarial, a preocupação em buscar novas abordagens e metodologias diferenciadas para a construção do conhecimento da realidade que se apresenta, sobretudo quando o aspecto a ser analisado são os preços das *commodities*, os quais são definidos pelo mercado e caracterizados por sua natureza cíclica e elevada flutuação e alta volatilidade.

Por diversos pontos de vista, algumas variáveis de previsão de preço e uma variedade dos estudos teóricos abordam a previsão de preços de *commodities*. Desde as técnicas iniciais como as desenvolvidas por Engle (1982); a teoria dos estoques (FAMA; FRENCH, 1987), métodos por processos estocásticos, com base em modelos de um, dois ou três fatores (BRENNAN; SCHWARTZ, 1985; FAMA; FRENCH, 1987; GIBSON; SCHWARTZ, 1990; SCHWARTZ, 1997; SCHWARTZ; SMITH, 2000; AIUBE; BAIDYA, 2006; PEREIRA, 2009), ou ainda sob a ótica de métodos autorregressivos, utilizando, por exemplo, a técnica de Redes Neurais Artificiais, Ntungo e Boyd (1998), Cifarelli; Paladino (2009) na especulação do mercado de petróleo.

Na tentativa de previsão do preço de petróleo, usado como balizador do preço da *commodity* apresentada, observa-se inúmeras variáveis, que se distribuem entre diversas dimensões: políticas, econômicas e de mercado. Muitos são os interesses e os fatores envolvidos: crescimento econômico mundial, evolução das reservas e da produção mundial em contraposição à fraca expansão da produção, variação de estoques, evolução do perfil de demanda, eficiência energética, preços dos produtos substitutos, condições climáticas, ocorrência de eventos de geopolítica, estratégias de mercado dos produtores (em particular os que são membros da OPEP) e dos grandes países consumidores (política energética etc.), especulação nos mercados futuros e suas implicações sobre o mercado *spot* etc. (EPE, 2008). Isto é, as variáveis envolvidas são tantas e com uma extensa abrangência de possibilidades de evolução, resultando em muitas incertezas, as quais são explanadas abaixo.

As abordagens gerais para determinação de preços de *commodities* consolidadas pela literatura refletem, de maneira estática, situações possíveis em mercados que, provavelmente, não se aproximam da realidade competitiva encontrada pelas *commodities*, no seu mercado de atuação. Nesse sentido, a tarefa de precificar torna-se mais complexa e arriscada, pois os fatores que interferem na política de preços da *commodity* não são somente aqueles idealmente apontados pela literatura.

Outros fatores conjunturais devem ser considerados e os agentes necessitam de ferramentas e metodologias que permitam a manipulação desses vários fatores, que atuam de forma interdependente nos preços. É imbuído deste sentimento, que se encontra o Cenário que se configura, pois se apresenta e se desenvolve uma modelagem alternativa às tradicionalmente utilizadas para o monitoramento e previsão dos preços das *commodities*. Pela descrição realizada neste trabalho, demonstrou-se a técnica e o uso de Redes Bayesianas, e espera-se a partir de resultados encontrados em outras aplicações, que esta técnica possa encontrar resultados melhores que os já encontrados para a previsão de preços em curto e médio prazo.

Observado este *gap*, ressalta-se que a técnica proposta apresenta a vantagem de entender a relação causa e efeito, trazendo um atrativo extra, na análise dos Cenários. Redes Bayesianas constituem uma forma natural para representação de informações condicionalmente independentes. E ainda, possibilitam a representação compacta de uma Tabela de conjunção de probabilidades. Em outras palavras, busca oferecer uma solução assertiva para problemas onde conclusões não podem ser obtidas apenas do domínio do problema, onde o uso de probabilidades é exigido.

### **5.3 Análise dos Cenários**

Como já foi apontado neste estudo, o desenvolvimento de Cenários não é apenas um exercício de predição, e sim, um esforço na busca de possíveis e

consistentes situações, apresentando plausíveis condições para tomadas de decisão. Ainda que cada Cenário proposto esteja incompleto, é um instrumento de apoio à decisão, e deve envolver as variáveis mais acentuadas da situação, eliminando as situações passadas, focando em Cenários futuros que estejam nos limites do conhecimento científico, e propondo transformações viáveis no período de tempo estimado. Assim, neste estudo foi proposto dois Cenários para estudo da previsão da *commodity* do butadieno, a partir da ferramenta proposta. O primeiro Cenário estudado diz respeito à previsão para médio prazo (previsão para 6 meses e 12 meses), ambos para 2010. O segundo estudo de Cenários deu-se em 2007, também com previsão para 6 e 12 meses.

Foi estudado no item 4.3, a Datação Histórica do período entre 1988 e 2010, onde se apontou os principais eventos históricos que se julgou capaz de alterar o preço do petróleo e seus derivados. A partir dos dados levantados, foram estudados os Cenários seguintes, sob a luz dos acontecimentos históricos abordados.

### **5.3.1 Análise do Cenário 1**

No Cenário 1, é estudada a previsão do butadieno para o ano de 2010. Para tanto, torna-se necessário que se compreenda o Cenário mundial daquele período e os seus antecedentes.

O período que antecede o Cenário proposto verifica-se alguns fatos que devem ser analisados amiúde. O ano de 2008 testemunhou flutuações sem precedentes nos preços do petróleo. Durante os primeiros três trimestres, o preço do petróleo aumentou subitamente, para US \$ 140/bbl, um nível que nunca antes havia sido alcançado, e depois por causa da crise econômica global, o preço caiu drasticamente para menos de US \$ 50/bbl até o final do ano perdendo mais de 64% do preço máximo, em período inferior a três meses.

O fornecimento de petróleo para o mercado internacional oscilou de acordo com a lei da oferta e da procura. Este comportamento afetou a produção de petróleo em todos os países exportadores. No entanto, a demanda por petróleo bruto, em

alguns países em desenvolvimento, como a China e a Índia, aumentou nos últimos anos devido ao rápido crescimento no setor de transportes, além da ausência de alternativas econômicas viáveis para os combustíveis fósseis. O rápido crescimento da demanda de combustível obrigou os formuladores de políticas em todo o mundo para incluir ininterrupta oferta de petróleo bruto como uma prioridade vital em seu planejamento econômico e estratégico. O Quadro 12 reproduz os períodos antecedentes à data estudada no Cenário:

Quadro 12 – Reprodução parcial do Quadro 9

<b>Período</b>	<b>Acontecimentos históricos</b>	<b>Estruturas afetadas</b>
Julho/03 a Dezembro/08	Desastre natural nos EUA Aumento do preço do aço Redução do crédito ao consumidor	Econômico Mercado
Dezembro/08 a Agosto/09	Ápice da Crise financeira Redução do preço da Borracha natural Redução da produção dos produtos derivados da borracha natural Retração na produção do aço	Político Econômico
Agosto/09 a Novembro/10	Início do segundo mandato de Obama Mahmoud Ahmadinejad assume no Irã China se torna a maior exportadora do mundo	Econômico Político

Fonte: Resultados da pesquisa

Este era o Quadro histórico, econômico, político e mercadológico em que a ferramenta proposta foi testada. Para o prazo previsto, o procedimento não obteve sucesso. Observou-se que o valor real do butadieno não pertence ao intervalo com maior probabilidade exibido pela Rede Bayesiana, embora esteja num intervalo próximo.

Qualquer previsão num momento de risco, como o que se descreve neste Cenário 1, se tornaria apenas uma previsão, visto que a volatilidade de resultados inesperados era iminente. Qualquer investimento neste momento de instabilidade recairia nos três tipos de risco descrito no item 2.2 Dualidade entre Risco e Incerteza: Operacional, ligados à economia, assumidos voluntariamente por uma empresa; Estratégico, originados por mudanças no Cenário econômico ou político de um determinado país e Financeiro, ligados às possíveis perdas no mercado

financeiro, graças às oscilações e à volatilidade de variáveis com taxas de juros e taxas de câmbio (JORION, 1997)

Neste caso, é necessário grande conhecimento dos meandros em que o mercado financeiro está inserido para permitir que os gestores formulem estratégias mais próximas da realidade que os cercam e desta forma possa proteger a empresa de um resultado adverso.

Neste caso, é necessário grande conhecimento dos meandros em que o mercado financeiro está inserido para permitir que os gestores formulem estratégias mais próximas da realidade que os cercam e desta forma possa proteger a empresa de um resultado adverso. A ferramenta proposta para este período de risco alcançou valores próximos ao inferido, no entanto, os valores alcançados não pertencem ao intervalo dado.

Isso não significa que a ferramenta desenvolvida seja inapropriada, no entanto, que requer uma avaliação mais próxima das variáveis que a cercam.

### **5.3.2 Análise do Cenário 2**

O Cenário 2 estudado, diz respeito à inferência do ano de 2007. Para se chegar à Rede Bayesiana deste Cenário, foi estudado o período entre 1988 e 2006, dado que a inferência seria para 6 e 12 meses.

Para tanto, foi necessário compreender o Cenário mundial antecedente àquele período. Este Cenário é diferente do anterior, uma vez que havia uma estabilidade econômico-financeira-mercado, maior que no Cenário anterior. O resultado obtido foi de 84% de chance de o valor do Butadieno pertencer ao intervalo sugerido. Estes resultados encontrados foram satisfatórios, e indicam que a ferramenta proposta para um Cenário mais estável é útil. O Quadro 13, reproduz parcialmente o Quadro 8, no período que antecede a inferência.

Quadro 13 - Reprodução parcial do Quadro 9 entre P-14 e P-18

	Período	Fatos históricos	Causas
<b>PI4</b>	Outubro/91 a Agosto/92	Renúncia de Mikhail Gorbachev Início da Crise cambial na América Latina	Econômico
<b>PI5</b>	Agosto/92 a Janeiro/94	Estabelecimento da União Europeia Fim da Guerra entre as Coreias Crise na Rússia	Político
<b>PI6</b>	Janeiro/94 a Setembro/95	Diversos conflitos e possibilidades de conflitos no mundo: Sarajevo, Ruanda, Chechênia, Haiti. Crise cambial mexicana Retração dos mercados internacionais	Político e Econômico
<b>PI7</b>	Setembro/95 a Maio/96	Avanço dos pneus radiais. Retomada do plantio de seringueiras no Brasil	Mercado
<b>PI8</b>	Maio/96 a Maio/97	Prenúncio da crise financeira Aumento do consumo de borracha natural na China	Econômico e Mercado

Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que o Quadro histórico, econômico, político e de mercado era diferente do Cenário anterior em que a ferramenta proposta foi testada. Para o prazo previsto, o procedimento obteve sucesso. Observou-se que o valor real do butadieno pertence ao intervalo com maior probabilidade exibido pela Rede Bayesiana, evidenciando que não houve falhas na previsão.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As rápidas transformações no âmbito econômico, político e mercadológico que ocorrem no mundo atual, têm atraído atividades acadêmica e empresarial, com preocupações na busca por novas abordagens e metodologias diferenciadas para a construção do conhecimento da realidade que se configura no presente. Quando são levados em consideração os aspectos financeiros no âmbito global, definidos pelo mercado, o estudo de *commodities* são imprescindíveis, dado que estas são definidas pelo mercado e caracterizada pela sua natureza de incerteza e alta volatilidade.

A determinação de preços de *commodities* está consolidada pela literatura, no entanto, estas se expressam, de maneira estática, situações possíveis em mercados que, provavelmente, não se aproximam da realidade competitiva encontrada pelas *commodities* no seu mercado de atuação. Desta forma, precificá-las torna-se um exercício mais complexo e arriscado, pois os fatores que interferem na política de preços da *commodity* não são somente aqueles idealmente delimitados pela literatura. Torna-se necessário considerar fatores dinâmicos conjunturais e os agentes necessitam de ferramentas e metodologias que permitam a manipulação desses vários fatores, que atuam de forma interdependente nos preços.

A metodologia proposta apresentou duas fases: na primeira, fez o levantamento bibliográfico buscando esclarecer e caracterizar a investigação proposta e de forma a aumentar o conhecimento do fenômeno estudado. O desenvolvimento dessa segunda etapa foi marcado pela pesquisa quantitativa. Iniciada a coleta de dados, as variáveis foram apresentadas e caracterizadas. Após isto, e através da série histórica dos preços do butadieno, elaborou-se a datação histórica, onde se fez a marcação dos pontos críticos no Gráfico dos preços da *commodity*. Esses pontos serviram para uma visualização dos acontecimentos históricos que antecederam estes pontos críticos. Elaborou-se um questionário com 12 questões, sendo cada questão uma das variáveis a serem estudadas, foram aplicados, através da escala *Likert* de 5 pontos. Obteve-se 38 respostas.

Para validar o questionário, utilizou-se do Alfa de *Cronbach*, cujo resultado, após ajustes, classificou as variáveis em 3 grandes grupos, os quais sejam: político,

econômico e de mercado. Isto se deu porque eliminando-se esta variável o índice do Alfa de *Cronbach* melhorou e tornou o estudo mais confiável. Contudo, graças à dificuldade de se encontrar dados suficientes que subsidiassem a variável oferta/demanda, por todo período estudado, esta variável também foi eliminada. A Rede Bayesiana foi desenvolvida com 10 variáveis

A partir de então, se deu a construção da Rede Bayesiana através do Programa GeNIe 2.0, com o qual pôde-se estudar diversos Cenários de previsão de alterações nos preços. Para validação do modelo, fez-se uso da Análise Fatorial, através do SPSS 20.

Na ausência de dados da *commodity* do butadieno, e visando melhor previsão do preço desta, utilizou-se da alternativa de estudar a *commodity* do petróleo, usada como balizador do preço do Butadieno, visto que os dados desta *commodity* são mais abundantes. Usando esta prática, pôde-se observar melhor como se distribuíam as diversas dimensões: políticas, econômicas e de mercado, em relação ao comportamento de seus preços. Muitos são os interesses e os fatores envolvidos: conflitos armados, crise financeira mundial, desequilíbrio entre a oferta e a demanda, políticas endógenas, que os países adotam. Enfim, os parâmetros deste estudo não se esgotam nas variáveis que foram apresentadas neste trabalho. Neste caso, outras variáveis devem ser consideradas, uma vez que, os exemplos aqui tratados e que compararam com o modelo adotado não refletem necessariamente numa exatidão, que se possa garantir que o modelo desenvolvido neste estudo seja infalível. Pelo contrário, novos estudos precisam ser realizados para que se possa agregar a este modelo nova variável, a fim de aprimorar o que, na primeira tentativa, mostrou-se satisfatório.

Assim, inserida nesse Cenário, está esta pesquisa, desenvolveu uma modelagem alternativa às tradicionais para o monitoramento e previsão dos preços da *commodity* do Butadieno, com base na utilização de uma ferramenta já consagrada que são as Redes Bayesianas. As Redes Bayesianas apresentaram resultados significativos para esta pesquisa, considerando as variáveis aqui estudadas. Contudo, entende-se que para Cenários de instabilidade econômico-financeiro-mercado, esta ferramenta não percebeu as rápidas mudanças no ambiente e a previsão ficou aquém da faixa de preços proposta.

Quanto aos objetivos secundários considera-se:

Em relação ao objetivo 1: “ estabelecer as relações causais que determinam o preço da *commodity*, gerando variáveis e suas relações, através do conhecimento captado junto aos *experts* e das análises das relações que se estabelecem entre elas, atingiu-se este objetivo”, o mesmo foi alcançado. Inicialmente foram consultados e entrevistados os especialistas na área que afirmavam que as variáveis do estudo estão direcionadas em sua causa e efeito em virtude da flutuação dos preços. Neste caso, as perguntas foram elaboradas de acordo com as sugestões apontadas pelos especialistas na área. Isto se comprova que em tempos de estabilidade econômica, financeira, e de mercado, a ferramenta proposta conseguiu prever o preço da *commodity*.

O segundo objetivo específico “caracterizar a *commodity* do butadieno e estabelecer todas as relações e interações significativas que influenciam no preço” está descrito nos itens 2.1.1 “Aspectos que caracterizam a *commodity*” e 2.1.2: “A *commodity* do Butadieno”. Observou-se que o preço da *commodity* está diretamente relacionado a demanda e a oferta do ativo, e que os modelos que descrevem os preços são quase sempre baseados em preços estocásticos. Assim, o Butadieno tem 80% da sua produção em países que estão em processo de desenvolvimento e cuja flutuação cambial é um risco para o modelo.

Em relação ao terceiro objetivo específico, “Estudar os fatores de formação do preço da *commodity* do butadieno a partir do petróleo”, o mesmo foi desenvolvido no item 2.1.4 Fatores de Formação do Preço das *Commodities* chegando a conclusão que a previsão dos preços do ativo depende do estudo de processo estocástico e de variáveis exógenas que resultou no modelo proposto, o qual descreveu a trajetória do preço da *commodity*.

Com referência ao objetivo 4 “Detectar a existência ou não dos componentes estocásticos e/ou determinísticos de sazonalidade nos preços da *commodity* do butadieno”, o mesmo foi respondido no item 4.2 “Análise da variável primária”, em que percebeu-se que o preço da *commodity* apresenta componentes estocásticas de sazonalidades. Os processos estocásticos são regidos por fenômenos aleatórios, ou seja, as variáveis que seguem este tipo de processo mudam imprevisivelmente

de trajetória no tempo, dificultando dessa forma a modelagem, inibindo o melhor apreçamento de um derivativo. Evidências empíricas mostram que a volatilidade dos contratos futuros, como é o caso da *commodity* estudada.

Em relação ao objetivo 5, “Descrever as diversas teorias e mostrar as relações entre os modelos que definam um padrão de comportamento da variação dos preços de *commodities* aplicados ao mercado internacional”, este estudo descreve ainda as diversas teorias e as relações entre os modelos que definem um padrão de comportamento da variação dos preços de *commodities* aplicados ao mercado internacional, no capítulo 2 “referencial teórico”, onde foi apresentado a diferença entre risco e incerteza no item 2.1.5 Modelos de previsão de preços de *commodities*, seguido no item 2.2 de uma abordagem sobre a Dualidade entre Risco e Incerteza.

Alicerçado então nos resultados dos objetivos secundários, pôde-se chegar ao objetivo principal desta pesquisa, o qual foi construir uma ferramenta de apoio à decisão que pudesse prever, periodicamente, o preço futuro de uma *commodity* a curto e médio prazo, utilizando a ferramenta das Redes Bayesianas, a partir de dados disponíveis. Considerando as variáveis apresentadas, o modelo proposto após a discretização das variáveis e da divisão em intervalos, mostrou-se bastante adequado aos objetivos da análise, fornecendo uma estimativa lógica em períodos de considerável estabilidade nos Quadros políticos, econômicos e de mercado.

Através da análise de Cenários, observou-se que o modelo proposto alcançou 84% de chances de pertencer ao intervalo especificado, como ocorrido entre junho e dezembro de 2007, obtendo, portanto resultados satisfatórios. Estes resultados são bem superiores aos encontrados por Fan *et. al.* (2006) que obteve êxito de 54,54% para previsão de um mês, ou Morana, cujo êxito foi de 46,67% (2001) para previsão de 2 meses.

Assim, em períodos de visível instabilidade nas áreas citadas não obteve um resultado a contento, visto que a faixa de valor com a maior probabilidade, não incluiu o valor real do butadieno. Logo os resultados não são satisfatórios para previsão em curto prazo, nessa circunstância. O mesmo ocorreu para períodos de

previsão de 11 meses. Esta situação se deu porque o modelo mostrou que apresenta limitações. No entanto, satisfatória nos períodos de calma mundial.

O capítulo 4, especificamente, no item 4.6, Sexta Etapa – Construção da Rede Bayesiana do butadieno, proporcionou um debate que se propôs a analisar possíveis Cenários a partir das variáveis estudadas, expostas nos itens 2.2.1: Estudo de Cenários e o item 4.7 Estudo de Cenários, destacando alguns dos possíveis Cenários.

Neste contexto, diante do atendimento dos objetivos supracitados, o estudo se apresenta como apto a gerar subsídios reais para a política de mercado e contratos futuros negociados e propor estratégias para o gerenciamento dos preços da *commodity* no mercado.

Assim, ainda que esta pesquisa apresente um tema relevante e venha a contribuir com a literatura sobre o tema, durante o desenvolvimento da pesquisa algumas limitações foram sentidas, sendo que em algumas situações houve a necessidade da busca de alternativas de modo que as metas fossem alcançadas. Em alguns casos, havia falta de informações disponíveis, ou informações desconstruídas ou ainda incompletas para o período estudado. Podem-se citar como exemplo, os valores do PIB dos países exportadores do Petróleo, no site do Banco Mundial. Não havia a disponibilidade dos dados de todos os países e nem do período estudado, portanto optou-se por buscar cruzamento de informações junto a outros órgãos que disponibilizassem os dados faltantes.

Outra limitação foi a dificuldade de obtenção de respostas para os questionários. Em um primeiro momento, apenas nove questionários haviam sido respondidos, porém se viu necessário uma nova investida junto a especialistas de várias partes do mundo. Foram usadas as redes sociais como o facebook e o *linked In* para se alcançar o volume de 38 questionários respondidos por especialistas.

Na busca da melhor previsão do preço de do butadieno, observa-se que é função de inúmeras variáveis, que se distribuem entre diversas dimensões: políticas, estratégicas e de mercado. Muitos são os interesses e os fatores envolvidos: conflitos armados, crise financeira mundial, lei da oferta e procura, custo de

armazenagem, políticas endógenas, que os países adotam. Enfim, os parâmetros deste estudo não se esgotam no que foi apresentado neste trabalho.

Observada esta necessidade, este estudo pode ser considerado um embrião para se aprimorarem novos conceitos e tornar este modelo ainda mais completo. Acredita-se que este estudo tenha trazido uma boa contribuição para a área de modelagem de preços de *commodities*, a partir da utilização de Redes Bayesianas, e como consequência, abre espaço para outras pesquisas, como por exemplo:

a) O modelo pode ser proposto para outras *commodities* de diferentes categorias (agrícolas, metálicas, minerais, etc.);

b) O modelo pode ser reaplicado com aumento das frequências das variáveis e aumento do comprimento da série;

c) O modelo pode ter seus resultados comparados com outros de Inteligência Artificial, como Redes Neurais Artificiais.

## REFERÊNCIAS

ABICALAFFE, C., AMARAL, V. F.; DIAS, J.S.. Aplicação da Rede na Prevenção da Gestão de Alto Risco. In: **Congresso Brasileiro de Informática Médica**, Ribeirão Preto. Anais do Congresso Brasileiro de Informática Médica, v. 1 p. 1-1, 2004.

ABRAMSON, B.; FINIZZA, A. *Using Belief Networks to Forecast Oil Prices*. **International Journal of Forecasting**, Amsterdam, v. 7 p. 299–316, 1991.

ABRAMSON, B.; FINIZZA. *Probabilistic forecasts from probabilistic models a case study in the oil market*. **International Journal of Forecasting** v. 11 p. 63-72. 1995.

ADVFN. **Commodity: aço**. 2013. Disponível em: <<http://wiki.advfn.com/pt/Commodity:A%C3%A7o>>. Acesso em 20 de set. de 2013.

AIUBE, F. A. L.; BAIDYA, T. K. N. **Analysis of the behavior of volatility in crude oil prices**. n. VI Brazilian Finance Conference, 2006.

ALEXANDER, C. **Risk Management and Analysis**: measuring and modeling financial risk. London. Ed. Alexander Carol, v. 1, Chapter 4. 1998.

ALEXANDER, C. **Optimal hedging using cointegration**. The Royal Society London, v. 357. 1999.

ALICEWEB. **Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior**. Secretaria de Comércio Exterior (SECEX). Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em < <http://aliceweb.mdic.gov.br/>>. Acesso: 20 de mar. de 2014. 2014.

AMANO, A. **A small forecasting model of the world oil market**. Policy Modeling 9, 1987.

ARMSTRONG, J. S. **Principles of Forecasting: a Handbook for Researchers and Practitioners**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001a.

ARMSTRONG, J. S. **Strategic Planning and Forecasting Fundamentals**. In: Albert K. The Strategic Management Handbook. New York: McGraw Hill, 2001b.

ASHTON, A. H.; ASHTON, R. H. **Aggregating Subjective Forecasts: Some Empirical Results**. **Management Science**, v. 31, n. 12. 1985.

AZEVEDO, P. F. **Comercialização de Produtos Agroindustriais**. BATALHA, M. O. (Coord.); GEPAL - Grupo de Estudos e Pesquisas Agroindustriais. Gestão Agroindustrial. São Paulo: Atlas, 1997.

BANCO MUNDIAL. **PIB dos países pertencentes à OPEP**. Disponível em < <http://www.worldbank.org/pt/country/brazil>>. Acesso em 14 de out. de 2013. 2013.

BARBANCHO, A. G. **Econometria: Fundamentos e Possibilidades**. Rio de Janeiro/RJ, Fórum, 1970.

BESSEMBINDER, H. *et al.* *Mean Reversion and equilibrium asset price: evidence from the futures term structure.* **The Journal of finance.** v. 50 n. 1, mar/ 1995.

BETHLEM, A.S. **Gestão de negócios: uma abordagem brasileira.** Rio de Janeiro: Campus. 1999.

BM&F. **Bolsa de Valores e Mercado Futuro.** Disponível em: <[www.bmfbovespa.com.br](http://www.bmfbovespa.com.br)>. Acesso em 26 out. de 2010.

BNDES. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.** 2002. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/usasteel.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/usasteel.pdf)>. Acesso em 31 de outubro de 2013.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Contexto mundial e preço do petróleo: uma visão de longo prazo.** 2008. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/Estudos\\_29/Contexto%20Mundial%20e%20Pre%C3%A7o%20do%20Petr%C3%B3leo%20Uma%20Vis%C3%A3o%20de%20Longo%20Prazo.pdf](http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/Estudos_29/Contexto%20Mundial%20e%20Pre%C3%A7o%20do%20Petr%C3%B3leo%20Uma%20Vis%C3%A3o%20de%20Longo%20Prazo.pdf)>. Acesso em 21 de set. de 2011.

BRITISH PETROELEM. **BP Statistical Review of World Energy.** British Petroleum. 2008. Disponível em: <<http://www.bp.com/statisticalreview>>. Acesso em 04 de nov. 2013.

BRENNAN M.; SCHWARTZ. E. S. *Evaluating Natural Resource Investments.* **Journal of Business** n. 58 p.135-157. January, 1985.

CETESB. **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.** 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/butadieno.pdf>> Acesso em 30 de out. de 2012.

CHANG, K. C.; FUNG, R.; LUCAS, A.; Oliver, R.; Shicaloff, N. **Bayesian Network applied to credit scoring.** **IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry.** London 2000: Oxford University Press, n. 11, p. 1-18, 2000.

CHAUVET *et al.* *Two methodologies to build inflation leading indicators for Brazil.* **Research and Studies Department Central Bank of Brazil.** 2000. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?SEMETAS00>>. Acesso em 25 de out. de 2012.

CHICRALLA, M. R. **Antecipação do movimento do preço da commodity aço, em contratos a preço firme no Mercado de engenharia industrial no Brasil.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Economia. Rio de Janeiro. 2006.

CHURCHILL, G. A. **Marketing research: methodological foundations.** Fort Worth: The Dryden Press, 1991.

CIFARELLI, G.; PALADINO, G. **Oil price dynamics and speculation: A multivariate financial approach.** 2009. Disponível: em <<http://www.elsevier.com/locate/eneco>>. Acesso em 20 de out. de 2012.

CMAI (2011). **Chemical Market Associates**, INC. Disponível em <<http://www.cmaiglobal.com>>. Acesso em 12 de Mai. de 2013, 2013.

CPMAIndia. **Report of the Sub-group on Petrochemicals for the 12th Five Year Plan Government of India**. Available on: <[http://cpmaindia.com/butadiene\\_about.php](http://cpmaindia.com/butadiene_about.php)>. Acesso em: 15 de Abr. de 2011.

CRQ4. **Conselho Regional de Química. IV Região de São Paulo**. Disponível em <[http://crq4.org.br/default.php?p=texto.php&c=quimicaviva\\_borrachas](http://crq4.org.br/default.php?p=texto.php&c=quimicaviva_borrachas)>. Acesso em: 02 de nov. de 2013. 2013.

CROCKER, L., ALGINA, J. **Introduction to Classical and Modern Test Theory**, Harcourt Brace Jovanovich College Publishers: Philadelphia. 1986.

DAVIS, F. B. **Educational measurements and their interpretation**. Wadsworth Publishing Co.: Belmont, California. 1964.

DAY, T. E.; LEWIS, C. M. *Forecasting futures markets volatility*. **Journal of Derivatives**, v. 1, 1993.

DEMO, P. **Metodologia Científica em Ciências Sociais**. São Paulo: Atlas. 1995.

DRIESPRONG, G.; JACOBSEN, B.; MAAT, B. *Striking Oil: Another Puzzle?*. **Journal of Financial Economics**, August 2008. v. 89 n. 2, p. 307- 327. 2008.

DUFFIE, D.; GRAY, S. *Volatility in energy prices*. **Managing Energy Price Risk. Publications**, p. 39-55, 1995.

EIA, INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK 2007. Washington, D. C.: **Energy Information Administration**, US Department of Energy. 2007. Disponível em : <<http://www.eia.doe.gov>> Acesso em 31 de out. de 2013.

ENGLE, R. F. *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation*. **Econometrica**, v. 50, n. 4, July. 1982.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **Contexto Mundial e Preço do Petróleo: Uma visão de longo prazo**. 2008. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/Estudos\\_29/Contexto%20Mundial%20e%20Pre%C3%A7o%20do%20Petr%C3%B3leo%20Uma%20Vis%C3%A3o%20de%20Longo%20Prazo.pdf](http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/Estudos_29/Contexto%20Mundial%20e%20Pre%C3%A7o%20do%20Petr%C3%B3leo%20Uma%20Vis%C3%A3o%20de%20Longo%20Prazo.pdf)>. Acesso em 01 de nov. de 2012.

FAMA E. F.; FRENCH, K. R. *Commodity future prices: Some evidence on forecast Power, premiums and the theory of storage*. **Journal of Business**. v. 60, n. 1. p. 55-73. 1987.

FAN, Y., LIANG, Q., WEI, Y.M. *A generalized pattern matching approach for multist e prediction of crude oil price*. **Energy Economics** n. 30, p. 889-904. 2006.

FLORES, B. E.; WHITE, E. M. A. *Framework for the Combination of Forecasts*. **Journal of the Academy of Marketing Science**. v. 16, n. 3-4, p. 95-103, 1988.

FRANCO. **As Reformas e o Crescimento da Produtividade: uma Nova Economia.** In Rosa Fontes e Marcelo A. Arbex. *Economia Aberta: Ensaio sobre Fluxos de Capitais, Câmbio e Exportações.* Viçosa: UFV. 2000.

GAMEIRO, A. H.; SARETTA, C. B. Preços do petróleo puxam os da borracha. **Revista Preços Agrícolas**, São Paulo, n. 168, p. 29, out./nov. 2000.

GARCIA, P.; LEUTHOLD, M. *A selected review of agricultural commodity futures and options markets.* **European Review of Agricultural Economics**, v. 31, n.3, p. 235-272, 2004.

GEMAN, H. **Commodities and Commodity Derivatives.** (Chichester: John Wiley & Sons), 2005.

GENIE 2.0. **Tutorial.** 2006. Disponível em:  
[http://genie.sis.pitt.edu/wiki/GeNletutorials:\\_tutorial\\_1\\_starting\\_and\\_exiting\\_GeNle](http://genie.sis.pitt.edu/wiki/GeNletutorials:_tutorial_1_starting_and_exiting_GeNle). Acesso 28 de fev. de 2010.

GHAFFARI, A; ZARI, S.. *A novel algorithm for prediction of crude oil price variation based on soft computing.* **Energy Economics** n. 31. p. 531-536. 2009.

GIBSON R.; SCHWARTZ E. S. *Stochastic convenience yield and the pricing of oil contingent claims.* **Journal of Finance**, v. XLV n. 3 p. 959-976. 1990.

GOBBO, L. G. **Fabricação de borracha. Engenharia de Controle e Automação.** FAC. Anhanguera Educacional. 2010. Disponível em:  
<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAPnYAI/fabricacao-borracha>>. Acesso em 02 de nov. de 2012.

GORDON. **Macroeconomia.** 7. Ed., São Paulo: Bookman. 2000.

GRANGER, C. W. J.; NEWBOLD, P. **Forecasting Economic Time Series.** Academic Press. 1977.

GRAU. E. R.. **A ordem econômica na Constituição de 1988.** 4. ed.. São Paulo: Malheiros, 1998.

GUERRERO, M.F.; PUEBLA, P.; CARRÓN, R.; MARTIN, M.L.; ARTEAGA, L.; SAN ROMÁN, L. *Assessment of the anti-hypertensive and vasodilator effects of ethanolic extracts of some Colombian medicinal plants.* **J. Ethnopharmacol**, v. 80, n.1, p.37-42, 2002.

GUJARATI, D. N. **Econometria Básica**, Makron Books, 2000.

HALL, R. **Organizações: estrutura e processos.** Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1984.

HAMILTON, J. D., *Oil and the Macroeconomy Since World War II* **Journal of Political Economy**, v. 91, p. 228-248. 1983.

HAMILTON, J. D. *What is an oil shock?* **Journal of Econometrics** v.113, p. 363-398. 2003.

HARRELL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R.. *Simulation Using ProModel®*. McGraw-Hill, 2000. ProModel®. McGraw-Hill, 2000.

HARRISON, P. J. STEVENS, C. F. *Bayesian Forecasting. Journal of the Royal Statistical Society*. série B. v. 38, n. 3, p 81-135. 1976.

HECHERMAN, D. **A tutorial on learning with bayesian networks**. Readmond: Microsoft Research Advanced Technology Division, 1996.

HIBON, M.; EVGENIOU, T. *To Combine or Notto Combine: Selecting among Forecasts and their Combinations. International Journal of Forecasting*. v. 21 n. 1 p. 15-24, 2005.

HULL, J. V. **Introdução aos mercados futuros e de opções**. 2. ed. São Paulo: BM&F/Cultura, 1996.

HULL, J. C., **Options, Futures and Other Derivatives** 7th Edition. Prentice Hall. 2008.

IMF, **World Economic Outlook Database**. Washington, D. C.: International Monetary Fund. 2008. Disponível em: <<http://www.imf.org>>. Acesso em 02 de nov. de 2013.

INDEX MUNDI. 2012. Disponível em: <<http://www.indexmundi.com>>. Acesso em 20 de nov. de 2013.

INDIA. **Report of the Sub-group on Petrochemicals for the 12th Five Year Plan**. 2012. Disponível em: <[http://cpmaindia.com/pdf/wg\\_petro1603.pdf](http://cpmaindia.com/pdf/wg_petro1603.pdf)>. Acesso em 12 de mar. de 2013.

IRSG- INTERNATIONAL RUBBER STUDY GROUP, *World Rubber Week*. 2013. In: *Singapore*. Disponível em < <http://www.rubberstudy.com/news-article.aspx?id=5051&b=default.aspx>> Acesso em 29 de jan. de 2013.

IC IS Pricing. **International Collective Investment Scheme**. 2010. Disponível em: [http://www.icis.com/about/price-reports/?cmpid=PSC|CHEM|2012-GLOBAL-adwd-generalprices&sfid=70120000000Hu8n&utm\\_term=icis%20pricing&matchtype=e-32941848134](http://www.icis.com/about/price-reports/?cmpid=PSC|CHEM|2012-GLOBAL-adwd-generalprices&sfid=70120000000Hu8n&utm_term=icis%20pricing&matchtype=e-32941848134)>Acesso em 25 de Nov. de 2010

JENSEN, F. V. **Bayesian Networks and Decision Graphs**. New York: Springer, 2001.

JOHNSON, R.A. & WICHEN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.1992.

JORION, P. **Value at Risk: The new Benchmark for Controlling Market Risk**. Chicago, London, Singapore: IRWIN. 1997.

KALDOR, N., Speculation and Economic Stability. **Review of Economic Studies**, v. 7, n. 1, p. 1. 1939.

KANG, S.H.; KANG, S.M.; YOON, S.M., *Forecasting volatility of crude oil markets. Energy Economics*. v.31, p. 119-125. 2009.

KAPLAN, R. SACCUZZO, D. ***Psychological testing***: Principles, applications and issues. Monterey, CA: Brooks/Cole Publishing Company. 1982.

KASZNAR, I. K. **Finanças Internacionais para Bancos e Industrias**.IBMEC, Rio de Janeiro. pg. 35-51. 1990.

KREGEL, J. A. “*Minsky’s Cushions of Safety—Systemic Risk and the Crisis in the U.S. Subprime Mortgage Market.*” *Public Policy Brief* . n. 93. **Annandale-on-Hudson, NY: The Levy Economics Institute of Bard College**. 2008.

KORB, K. B.; NICHOLSON, A. E.. ***Bayesian Artificial Intelligence***. London: Chapman & Hall/CRC Press UK, 2004.

KOTLER, P.. **Administração de marketing**: análise, planejamento, implementação e controle. 5° ed. São Paulo: Atlas, 1998.

KREGEL. *Minsky’s Cushion of Safety: Risk and the Crisis in the U.S. Subprime Mortgage Market. Public Policy Brief*, n. 93. Levy Economics Institute of Board College, EUA. Ago. 2008.

LAMOUNIER, W. M. Tendência, ciclos e sazonalidade no preço spot do café brasileiro na NYBOT. **Gestão da Produção**. São Carlos, v. 14 n. 1 p. 13-23, jan-abr. 2007.

LINDBERG, E.; ZACKRISSON, U. *Deciding about uncertain: The use of forecasts as an aid to decision-making. Scandinavian Journal of Management*. v. 7. n. 4, p. 271-283, 1991.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing**: uma orientação aplicada. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. **Forecasting: Methods and Applications**. 3. ed., New York: John Wiley & Sons, 1998.

MAKRIDAKIS, S.; WINKLER, R. *Averages of Forecasts: Some Empirical Results. Management Science*. v. 29 n. 9 p. 987-996, 1983.

MARTINS, R. **Sistemas de medição de desempenho**: um modelo para estruturação do uso. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MENTZER, J. T.; GOMES, R. *Evaluating a Decision Support Forecasting System Industrial. Marketing Management*. v. 18 n. 4 p. 313-323, 1989.

MINSKY, H. P. **Stabilizing an unstable economy**. New Haven: Yale University Press, 1986.

MIRMIRANI, S., Li, H.C. **A comparison of VAR and neural networks with genetic algorithm in forecasting price of oil**. *Advances in Econometrics*. n. 19. 2004.

MORANA, C.. ***A semiparametric approach to short-term oil price forecasting.*** Energy Economics 23, p. 325–338, 2001.

MURAT, A., TOKAT, E. *Forecasting oil price movements with crack spread futures.* **Energy Economics**. n. 31 p. 85-90. 2009.

MURPHY, K. R., DAVIDSHOFER, C. O. ***Psychological testing: Principles and applications.*** Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall. 1988.

NAGDI, K. *Manuale della Gomma*, **Editora Tecniche Nuove**, 1987.

NARAYAN, P.K., NARAYAN, S., *Modeling oil price volatility.* **Energy Policy**, n. 35, p. 6549-6553. 2007.

NASSAR, Paulo. Comunicação Estratégica, um conceito em evolução. In: NASSAR, Paulo (org.). **Comunicação Interna – a força das empresas.** São Paulo: ABERJE, 2005.

NEAPOLITAN, R. E. *Learning Bayesian Networks.* Upper Saddle River: Pearson, 2004.

NETICA. **Manual de utilização.** Disponível em <[www.norsys.com](http://www.norsys.com)>. Acesso em 1 de dez. de 2010.

NTUNGO, C.; BOYD, M. *Commodity Futures Trading Performance Using Neural Network Models versus ARIMA Models.* **Journal of Futures Markets**, v. 18, n. 8, p. 965-983, 1998.

NUNNALLY, J. C. ***Psychometric theory.*** New York: McGraw-Hill Inc. 1978.

ONU (Organização das Nações Unidas). **Corte de Haia.** Artigo 92. Carta das Nações Unidas. 1946.

PEARL, J. ***Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference.*** San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers. 1988.

PENNACCHIO, H. L. **Conjuntura semanal: borracha.** CONAB. Disponível em [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br). Acesso em 18 de dez. de 2011.

PEREIRA, L. M., **Modelo de formação de preço de commodities agrícolas, aplicado Mercado de açúcar e álcool.** São Paulo. Tese (Doutorado em Administração). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de São Paulo. Universidade de São Paulo. 2009.

PETERSON, R. A. A meta - analysis of *Cronbach's* alpha. **Journal of Consumer Research**, n.21, v. 2, p. 381-391. 1994.

PINTO JUNIOR, H.Q.; FERNANDES, E.S.L. **O mercado internacional do Petróleo e o comportamento dos preços.** Nota Técnica n. 2. Brasília. Jul. 1998. Disponível em [http://www.dnc.gov.br/doc/notas\\_tecnicas/Nota\\_Tecnica\\_ANP\\_002\\_1998.pdf](http://www.dnc.gov.br/doc/notas_tecnicas/Nota_Tecnica_ANP_002_1998.pdf)> Acesso em: 31 de jul. de 2013.

RADELET, S.; SACHS, J. **O despontar da crise financeira do leste asiático**. In Paul Krugman: Crises Monetárias. São Paulo: Makron Books. 2001.

REVISTA VEJA. Disponível em <<http://veja.abril.com.br/>>. Acesso em 03 de março de 2014. Editora Abril. 2014.

RIBEIRO, I. **Valor Econômico para o Valor Online**. O Globo. 2008  
Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/producao-mundial-do-aco-ja-sente-os-efeitos-da-crise-nota-worldsteel-3823006#ixzz2jb1dQkj0>> Acesso em 12 de set. de 2013.

RIPPEL, M.M. e GALEMBECK, F. *Nanostructures and Adhesion in natural Rubber: New Era for a Classic*. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, n.20, v.6, p. 1024-1030. 2009a.

RIPPEL, M.M. e BRAGANÇA, F. D. **Natural Rubber and Nanocomposites with Clay**. Quimica Nova, n. 32, v. 3, p. 818-826. 2009b.

ROUTLEDGE, B. R.; SEPPI, D. J.; SPATT, C. S.. **Equilibrium forward curves for commodities**. GSIA Working Papers 1997-50, Carnegie Mellon University, Tepper School of Business. 2000.

RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**, 2nd ed., Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2003.

RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. 2. ed. [S.I.]: Campus, 2004.

SADORSKY, P.. **Risk Factors in Stock Returns of Canadian Oil and Gas Companies**, *Energy Economics*, **23**, 17-28. 2001.

SADORSKY, P. *Modeling and forecasting petroleum futures volatility*. **Energy Economics**. n. 28, p. 467- 488. 2006.

SANDERS, N. R. *The Status of Forecasting in Manufacturing Firms*. Production and Inventory. **Management Journal**, v. 25 n. 5 p. 32-35, 1997.

SANDRONI, P. **Novo Dicionário de Economia**. 2. ed.: São Paulo: Ed. Best Seller, 1994.

SANTOS. T. C., **Identificação de fatores inibidores à realização de negócios de arroz em casca, na bolsa brasileira de mercadorias no Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado). UFRGS. 2005.

SCHWARTZ E. S.; SMITH, J. E. Short-term variations and long-term dynamics in commodity prices. **Manage. Science**, n. 46 v. 7 p. 893-911, 2000.

SCHWARTZ, E. S. The stochastic behavior of commodity prices: implications for valuation and hedging. **The Journal of Finance**, v. 52, p. 923-973, 1997.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio à Pequena e Média Empresa. **Glossário**. Disponível em: <[http://www.sebrae.cin.br/br/npublish/glossario\\_creditoc.asp](http://www.sebrae.cin.br/br/npublish/glossario_creditoc.asp)>. Acesso em 30 de set. de 2012. 2006

SHILLER, R. J., *Bubbles, Human Judgment, and Expert Opinion*. **Cowles Foundation Discussion Papers 1303**, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University. 2001.

SIMÕES, P. W. T. A.; NASSAR, S. M.; PIRES, M. M. S. **Sistema de Apoio na Avaliação da Falência do Crescimento Infantil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO, Workshop de Informática Aplicada à Saúde, 2001.

SOARES. F. A. R. **A administração da taxa de câmbio no plano real e os fundamentos econômicos brasileiros**. TESE (Doutorado em Economia/UnB). 2006. Disponível em: <[http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/seges/EPPGG/producaoAcademica/Tese\\_%20FernandoSoares.pdf](http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/seges/EPPGG/producaoAcademica/Tese_%20FernandoSoares.pdf)> Acesso em 12 de nov. de 2013.

SOARES N. S. *et al.* **Setor florestal ainda sofre impacto da crise**. Análise conjuntural. v. 3. Centro de Inteligência em Florestas.2009. Disponível em: <[http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/ana\\_n3\\_crise\\_2774.pdf](http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/ana_n3_crise_2774.pdf)>. Acesso em 28 de nov. de 2012.

SOARES, N. S.; SILVA, M. L.; ROSSMANN, H. Influência da taxa de câmbio e do dólar sobre os preços da borracha natural brasileira. **Revista Árvore**, 2013, v. 37, n. 2. Viçosa. Mar./Abr.2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000200015>>. Acesso em: 2 de ago. de 2013.

STEVENSON, A., **Engineering Aspects of Natural Rubber**, Naturrubber, Natural Rubber 5, 1936– 60 Years of Research and Promotion of NR, Newsletter of the Rubber Foundation Information Center for Natural Rubber, ISSN 1384-9352. 1996

STONER, J.A.F.; FREEMAN, R.E. **Administração**. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1995.

TATE, D. P. "Butadiene Polymers". in: "**Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**", Mark; Bikales; Overberg; Menges. (ed.): John Wiley & Sons, n. 2 p. 537-579. 1986.

TAYLOR, H. Congruence between risk management theory and practice in Hong Kong vendor-driven IT projects. **International Journal of Project Management**, v. 23 p. 437- 444, 2005.

TAYLOR, S. J. **Modeling Financial Times Series**. UK: John Wiley & Sons, 1986.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 5 ed., São Paulo: Atlas, 2004.

VASCONCELLOS FILHO, P. **Planejamento estratégico para a retomada do desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1985.

VICTOR, K.; PIRRONG, S. C. *Price dynamics in refined petroleum spot and futures markets*. **Journal of Empirical Finance**. 1996.

VICENTE, L. A. R. **AÇO BRASIL**. Siderurgia - Perspectivas para 2006. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/siderurgiaemfoco%5CSiderurgiaNo1.pdf>>. Acesso em 15 de fev. de 2013.

VIEIRA FILHO, V.; ALBUQUERQUE, M. T. C. F. Abordagem Bayesiana para simulação de jogos complexos. In: **SBGames**, 2007. São Paulo. Proceedings of SBGames 2007. 2007.

WATKINS, C.; MCALEER, M. Econometric Modeling of Non-ferrous Metal Prices. **Journal of Economic Surveys**, v.18, n. 5, 2004.

WEBBY, R.; O'CONNOR, M. Judgmental and Statistical Time Series Forecasting: a Review of the Literature. **International Journal of Forecasting**. v. 12, n., p. 91-118, 1996.

WHEELWRIGHT, S. C.; MAKRIDAKIS, S. **Forecasting methods for management**. 4th edition. New York: John Wiley & Sons Inc, 1985.

WILLIAMSON, O. E. **Las instituciones económicas del capitalismo**. México: Fondo de Cultura Económica. 1989.

WINKLER, W. E., **Methods for Adjusting for Lack of Independence in an Application of the Fellegi-Sunter Model of Record Linkage**. Survey Methodology, 15, 1989.

WORKING, H. The theory of price of storage. **The American Economic Review**. v. 39, n. 6, dec. 1948.

WRIGHT *et al.* The role and validity of judgment I forecasting. **International Journal of Forecasting**. v. 12, n. 1, p. 1-8, 1994.

## Anexo 1 – Valores Tabulados do Butadieno

Product Name: **BUTADIENE In US Gulf SPOT CIF**  
 01 Jan 1987 and 11 Nov 2010 as  
 Between: quoted.  
 Quoted in: CTS - LB  
 Converted from: **CTS - LB to USD - MT**

Copyright 2010 Reed Business Information Limited

ICIS Pricing is a member of the Reed Elsevier plc group.

Report Date	Low	High	Average
01/jan/87	290.73	310.02	300.38
01/fev/87	361.01	377.54	369.27
01/mar/87	421.63	440.92	431.28
01/abr/87	465.73	487.77	476.75
01/mai/87	520.29	546.75	533.52
01/jun/87	573.20	595.25	584.22
01/jul/87	577.61	599.66	588.63
01/ago/87	611.78	633.83	622.81
01/set/87	644.85	666.90	655.87
01/out/87	740.75	771.62	756.18
01/nov/87	708.23	724.77	716.50
01/dez/87	683.43	694.46	688.94
01/jan/88	562.18	589.74	575.96
01/fev/88	451.95	479.50	465.73
01/mar/88	349.98	374.79	362.38
01/abr/88	273.37	299.83	286.60
01/mai/88	385.81	410.61	398.21
01/jun/88	462.97	485.02	473.99
01/jul/88	462.97	485.02	473.99
01/ago/88	462.97	482.26	472.62
01/set/88	466.28	485.02	475.65
01/out/88	465.73	476.75	471.24
01/nov/88	440.92	462.97	451.95
01/dez/88	462.97	473.99	468.48
01/jan/89	421.63	432.66	427.15
01/fev/89	385.81	396.83	391.32
01/mar/89	357.15	376.99	367.07
01/abr/89	347.23	369.27	358.25
01/mai/89	378.92	391.32	385.12
01/jun/89	417.78	440.92	429.35
01/jul/89	493.28	540.13	516.71
01/ago/89	529.11	575.96	552.53
01/set/89	520.29	555.56	537.93
01/out/89	551.16	584.22	567.69
01/nov/89	622.81	644.85	633.83
01/dez/89	665.06	672.41	668.73
01/jan/90	699.97	719.26	709.61
01/fev/90	661.39	716.50	688.94
01/mar/90	661.39	661.39	661.39
01/abr/90	639.34	655.87	647.61
01/mai/90	606.27	639.34	622.81

01/jun/90	588.63	610.68	599.66
01/jul/90	551.16	573.20	562.18
01/ago/90	467.38	489.43	478.40
01/set/90	485.02	507.06	496.04
01/out/90	553.91	564.93	559.42
01/nov/90	597.45	619.50	608.48
01/dez/90	592.49	603.51	598.00
01/jan/91	507.06	523.60	515.33
01/fev/91	363.76	396.83	380.30
01/mar/91	343.92	379.19	361.56
01/abr/91	330.69	358.25	344.47
01/mai/91	339.51	352.74	346.13
01/jun/91	325.18	347.23	336.20
01/jul/91	303.14	319.67	311.40
01/ago/91	277.78	293.21	285.50
01/set/91	253.53	281.09	267.31
01/out/91	264.55	286.60	275.58
01/nov/91	264.55	286.60	275.58
01/dez/91	264.55	286.60	275.58
01/jan/92	275.58	286.60	281.09
01/fev/92	275.58	275.58	275.58
01/mar/92	275.58	275.58	275.58
01/abr/92	275.58	275.58	275.58
01/mai/92	288.81	304.24	296.52
01/jun/92	369.27	391.32	380.30
01/jul/92	405.65	423.29	414.47
01/ago/92	424.39	435.41	429.90
01/set/92	413.37	421.63	417.50
01/out/92	385.81	401.24	393.52
01/nov/92	374.79	385.81	380.30
01/dez/92	345.39	371.11	358.25
01/jan/93	316.91	336.20	326.56
01/fev/93	292.11	314.16	303.14
01/mar/93	264.55	292.11	278.33
01/abr/93	284.40	304.24	294.32
01/mai/93	314.16	358.25	336.20
01/jun/93	383.05	416.12	399.59
01/jul/93	401.24	443.13	422.18
01/ago/93	374.79	387.19	380.99
01/set/93	361.01	367.90	364.45
01/out/93	321.87	331.80	326.83
01/nov/93	282.47	292.11	287.29
01/dez/93	281.09	292.11	286.60
01/jan/94	275.58	286.60	281.09
01/fev/94	264.55	275.58	270.07
01/mar/94	270.07	281.09	275.58
01/abr/94	311.95	337.31	324.63
01/mai/94	349.98	385.81	367.90
01/jun/94	380.30	407.85	394.08
01/jul/94	416.67	449.74	433.21
01/ago/94	432.66	462.97	447.81
01/set/94	462.97	485.02	473.99

01/out/94	490.53	523.60	507.06
01/nov/94	507.06	551.16	529.11
01/dez/94	507.06	551.16	529.11
01/jan/95	523.60	551.16	537.38
01/fev/95	512.57	542.89	527.73
01/mar/95	500.45	526.90	513.68
01/abr/95	462.97	479.50	471.24
01/mai/95	440.92	462.97	451.95
01/jun/95	456.36	498.24	477.30
01/jul/95	507.06	523.60	515.33
01/ago/95	515.33	518.09	516.71
01/set/95	502.65	524.70	513.68
01/out/95	504.31	512.57	508.44
01/nov/95	462.97	496.04	479.50
01/dez/95	462.97	468.48	465.73
01/jan/96	410.61	413.37	411.99
01/fev/96	349.98	361.01	355.49
01/mar/96	352.74	363.76	358.25
01/abr/96	330.69	363.76	347.23
01/mai/96	388.01	432.11	410.06
01/jun/96	418.88	462.97	440.92
01/jul/96	407.85	421.63	414.74
01/ago/96	418.88	434.31	426.59
01/set/96	427.15	454.70	440.92
01/out/96	451.95	462.97	457.46
01/nov/96	475.10	499.35	487.22
01/dez/96	481.34	499.71	490.53
01/jan/97	485.02	497.14	491.08
01/fev/97	446.44	446.44	446.44
01/mar/97	396.83	396.83	396.83
01/abr/97	402.34	407.85	405.10
01/mai/97	418.88	418.88	418.88
01/jun/97	418.88	418.88	418.88
01/jul/97	479.50	504.31	491.91
01/ago/97	471.79	496.04	483.91
01/set/97	454.70	457.46	456.08
01/out/97	446.44	448.64	447.54
01/nov/97	429.90	429.90	429.90
01/dez/97	418.88	424.39	421.63
01/jan/98	418.88	419.98	419.43
01/fev/98	340.34	348.61	344.47
01/mar/98	311.40	323.80	317.60
01/abr/98	308.65	319.67	314.16
01/mai/98	308.65	319.67	314.16
01/jun/98	305.89	319.67	312.78
01/jul/98	304.24	315.26	309.75
01/ago/98	283.84	297.62	290.73
01/set/98	264.55	275.58	270.07
01/out/98	270.07	275.58	272.82
01/nov/98	270.07	275.58	272.82
01/dez/98	270.07	286.60	278.33
01/jan/99	265.66	277.78	271.72

01/fev/99	264.55	275.58	270.07
01/mar/99	239.75	250.78	245.26
01/abr/99	231.49	242.51	237.00
01/mai/99	245.26	253.53	249.40
01/jun/99	278.33	286.60	282.47
01/jul/99	297.62	308.65	303.14
01/ago/99	327.94	341.72	334.83
01/set/99	338.96	352.74	345.85
01/out/99	341.72	354.94	348.33
01/nov/99	349.98	366.52	358.25
01/dez/99	400.51	404.18	402.34
01/jan/00	429.90	456.08	442.99
01/fev/00	479.50	493.28	486.39
01/mar/00	507.06	529.11	518.09
01/abr/00	529.11	535.72	532.42
01/mai/00	518.09	518.09	518.09
01/jun/00	530.21	536.82	533.52
01/jul/00	578.71	617.29	598.00
01/ago/00	639.34	661.39	650.36
01/set/00	652.57	692.25	672.41
01/out/00	661.39	727.52	694.46
01/nov/00	655.87	694.46	675.16
01/dez/00	639.34	661.39	650.36
01/jan/01	620.05	633.83	626.94
01/fev/01	578.71	600.76	589.74
01/mar/01	535.72	546.75	541.23
01/abr/01	498.80	509.82	504.31
01/mai/01	462.97	473.99	468.48
01/jun/01	418.88	440.92	429.90
01/jul/01	363.76	385.81	374.79
01/ago/01	343.92	354.94	349.43
01/set/01	336.20	352.74	344.47
01/out/01	330.69	352.74	341.72
01/nov/01	327.94	338.96	333.45
01/dez/01	286.60	308.65	297.62
01/jan/02	248.02	297.62	272.82
01/fev/02	281.09	286.60	283.84
01/mar/02	304.24	317.47	310.85
01/abr/02	372.03	385.81	378.92
01/mai/02	418.88	440.92	429.90
01/jun/02	471.79	489.43	480.61
01/jul/02	507.06	545.64	526.35
01/ago/02	537.93	564.38	551.16
01/set/02	617.29	639.34	628.32
01/out/02	617.29	639.34	628.32
01/nov/02	626.11	656.98	641.54
01/dez/02	639.34	683.43	661.39
01/jan/03	650.36	683.43	666.90
01/fev/03	677.92	699.97	688.94
01/mar/03	705.48	709.89	707.68
01/abr/03	705.48	738.55	722.01
01/mai/03	683.43	692.25	687.84

01/jun/03	644.85	661.39	653.12
01/jul/03	609.03	622.81	615.92
01/ago/03	584.22	595.25	589.74
01/set/03	613.16	628.32	620.74
01/out/03	628.32	644.85	636.58
01/nov/03	633.83	650.36	642.10
01/dez/03	630.15	646.69	638.42
01/jan/04	628.32	644.85	636.58
01/fev/04	628.32	644.85	636.58
01/mar/04	628.32	644.85	636.58
01/abr/04	699.97	785.40	742.68
01/mai/04	749.57	831.14	790.36
01/jun/04	788.15	870.82	829.49
01/jul/04	767.21	795.87	781.54
01/ago/04	788.15	821.22	804.69
01/set/04	779.88	818.47	799.17
01/out/04	812.40	848.78	830.59
01/nov/04	887.36	925.94	906.65
01/dez/04	898.38	936.96	917.67
01/jan/05	892.87	920.43	906.65
01/fev/05	945.23	967.28	956.25
01/mar/05	1033.42	1074.75	1054.08
01/abr/05	1124.36	1168.45	1146.40
01/mai/05	1107.82	1168.45	1138.14
01/jun/05	1058.22	1168.45	1113.33
01/jul/05	1067.04	1168.45	1117.74
01/ago/05	1157.43	1229.08	1193.25
01/set/05	1247.81	1358.05	1302.93
01/out/05	1251.12	1355.84	1303.48
01/nov/05	1074.75	1168.45	1121.60
01/dez/05	992.08	1047.19	1019.64
01/jan/06	992.08	1014.13	1003.10
01/fev/06	992.08	1014.13	1003.10
01/mar/06	992.08	1014.13	1003.10
01/abr/06	1016.88	1041.68	1029.28
01/mai/06	1116.09	1157.43	1136.76
01/jun/06	1141.99	1221.36	1181.68
01/jul/06	1173.96	1273.17	1223.56
01/ago/06	1201.52	1333.80	1267.66
01/set/06	1243.41	1366.86	1305.14
01/out/06	1311.75	1433.00	1372.38
01/nov/06	1240.10	1350.33	1295.21
01/dez/06	1118.84	1229.08	1173.96
01/jan/07	1102.31	1212.54	1157.43
01/fev/07	1196.01	1306.24	1251.12
01/mar/07	1296.32	1415.37	1355.84
01/abr/07	1377.89	1488.12	1433.00
01/mai/07	1366.86	1455.05	1410.96
01/jun/07	1265.45	1371.27	1318.36
01/jul/07	1223.56	1300.73	1262.14
01/ago/07	1181.68	1243.41	1212.54
01/set/07	1168.45	1212.54	1190.49

01/out/07	1168.45	1212.54	1190.49
01/nov/07	1190.49	1234.59	1212.54
01/dez/07	1168.45	1212.54	1190.49
01/jan/08	1289.70	1333.80	1311.75
01/fev/08	1468.28	1512.37	1490.32
01/mar/08	1664.49	1747.16	1705.82
01/abr/08	1802.28	1868.42	1835.35
01/mai/08	1951.09	2050.30	2000.69
01/jun/08	2116.44	2193.60	2155.02
01/jul/08	2645.54	2755.78	2700.66
01/ago/08	3020.33	3130.56	3075.44
01/set/08	3086.47	3196.70	3141.58
01/out/08	2270.76	2380.99	2325.87
01/nov/08	1149.16	1215.30	1182.23
01/dez/08	859.80	911.24	885.52
01/jan/09	600.76	633.83	617.29
01/fev/09	507.06	529.11	518.09
01/mar/09	440.92	462.97	451.95
01/abr/09	418.88	451.95	435.41
01/mai/09	471.79	507.06	489.43
01/jun/09	688.94	738.55	713.75
01/jul/09	1111.13	1190.49	1150.81
01/ago/09	1394.42	1466.07	1430.25
01/set/09	1736.14	1813.30	1774.72
01/out/09	1640.24	1688.74	1664.49
01/nov/09	1383.40	1455.05	1419.22
01/dez/09	1278.68	1322.77	1300.73
01/jan/10	1482.61	1537.72	1510.16
01/fev/10	1802.28	1940.07	1871.17
01/mar/10	2155.02	2221.15	2188.09
01/abr/10	2297.21	2345.72	2321.46
01/mai/10	2314.85	2380.99	2347.92
01/jun/10	2226.67	2276.27	2251.47
01/jul/10	2103.21	2147.30	2125.25
01/ago/10	2033.76	2110.92	2072.34
01/set/10	1934.55	1978.65	1956.60
01/out/10	1706.38	1803.38	1754.88
01/nov/10	1653.47	1763.70	1708.58

## Anexo 2

### Questionário enviado aos especialistas

Nº.	Pergunta	<i>Escala</i>				
		A	B	C	D	E
1	Cotação do Butadieno e o Produto Interno Bruto (PIB)	.				
2	Cotação do Butadieno com a Atividade Econômica					
3	Cotação do Butadieno e a Procura / Oferta					
4	Cotação do Butadieno e a Taxa de Câmbio					
5	Cotação do Butadieno e Conflito nos países da OPEP					
6	Cotação do Butadieno e a Crise Financeira					
7	Cotação do Butadieno e o Petróleo					
8	Cotação do Butadieno e a Possibilidade de conflito social					
9	Cotação do Butadieno e a Borracha Sintética					
10	Cotação do Butadieno e a Borracha Natural					
11	Cotação do Butadieno e do Custo de Armazenamento					
12	Cotação do Butadieno e do Aço					

Fonte: Organizado pela Autora

## Anexo 3

### Respostas dos Especialistas

<b>Esp</b>	<b>P<sub>1</sub></b>	<b>P<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>3</sub></b>	<b>P<sub>4</sub></b>	<b>P<sub>5</sub></b>	<b>P<sub>6</sub></b>	<b>P<sub>7</sub></b>	<b>P<sub>8</sub></b>	<b>P<sub>9</sub></b>	<b>P<sub>10</sub></b>	<b>P<sub>11</sub></b>	<b>P<sub>12</sub></b>
Q <sub>1</sub>	3	2	3	2	4	4	4	2	5	3	2	3
Q <sub>2</sub>	5	4	4	3	5	4	4	4	5	0	3	4
Q <sub>3</sub>	4	0	2	0	2	4	5	3	4	2	3	2
Q <sub>4</sub>	2	4	5	4	5	3	4	4	5	5	3	3
Q <sub>5</sub>	5	4	3	0	2	4	3	4	4	3	2	0
Q <sub>6</sub>	4	3	4	4	5	3	3	4	4	3	0	3
Q <sub>7</sub>	5	3	4	4	4	3	5	4	5	3	2	4
Q <sub>8</sub>	5	3	3	3	4	3	3	3	2	3	0	4
Q <sub>9</sub>	5	5	3	4	2	2	3	2	0	4	4	4
Q <sub>10</sub>	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	3	4
Q <sub>11</sub>	2	3	4	5	3	4	5	2	0	4	3	3
Q <sub>12</sub>	4	4	5	5	5	4	5	4	5	4	4	5
Q <sub>13</sub>	5	5	4	3	4	4	5	5	4	4	4	3
Q <sub>14</sub>	0	4	5	5	5	4	5	2	4	4	2	5
Q <sub>15</sub>	5	5	4	2	5	4	5	4	4	5	5	4
Q <sub>16</sub>	4	4	5	5	4	2	5	4	0	4	4	5
Q <sub>17</sub>	5	5	5	5	4	2	5	2	0	2	2	5
Q <sub>18</sub>	5	4	2	2	5	4	4	2	4	5	2	4
Q <sub>19</sub>	5	4	4	1	3	4	4	3	4	4	5	3
Q <sub>20</sub>	5	4	3	3	4	3	4	4	3	4	5	3
Q <sub>21</sub>	4	4	4	4	3	4	5	5	3	3	3	5
Q <sub>22</sub>	4	3	4	3	4	4	4	5	3	3	3	4
Q <sub>23</sub>	4	4	4	4	3	4	5	5	3	3	3	5
Q <sub>24</sub>	4	4	4	3	4	4	5	3	2	3	3	4
Q <sub>25</sub>	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	5
Q <sub>26</sub>	5	5	4	3	5	4	5	5	5	5	5	3
Q <sub>27</sub>	2	2	2	0	2	0	0	0	2	5	3	0
Q <sub>28</sub>	5	5	4	5	4	3	5	4	4	5	4	5
Q <sub>29</sub>	4	3	3	3	2	2	3	4	3	4	3	2
Q <sub>30</sub>	4	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5
Q <sub>31</sub>	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5
Q <sub>32</sub>	5	4	5	3	3	3	5	4	4	4	3	5
Q <sub>33</sub>	4	4	4	3	5	3	4	4	4	4	3	4
Q <sub>34</sub>	5	4	5	2	2	2	4	0	4	2	0	3
Q <sub>35</sub>	4	4	4	4	2	4	5	4	5	2	3	2
Q <sub>36</sub>	3	2	4	4	4	5	4	3	4	2	2	4
Q <sub>37</sub>	3	3	5	4	3	4	4	4	3	3	3	4
Q <sub>38</sub>	4	5	5	5	5	5	5	4	4	3	4	5

Fonte: Resultado da pesquisa

## Anexo 4

### Resultados Finais das Entrevistas com o equivalente conceitual

Esp	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>
Q <sub>1</sub>	0,5	0,25	0,5	0,25	0,75	0,75	0,75	0,25	1,00	0,5	0,25	0,5
Q <sub>2</sub>	1,00	0,75	0,75	0,5	1,00	0,75	0,75	0,75	1,00	0	0,5	0,75
Q <sub>3</sub>	0,75	0	0,25	0	0,25	0,75	1,00	0,5	0,75	0,25	0,5	0,25
Q <sub>4</sub>	0,25	0,75	1,00	0,75	1,00	0,5	0,75	0,75	1,00	1,00	0,5	0,5
Q <sub>5</sub>	1,00	0,75	0,5	0	0,25	0,75	0,5	0,75	0,75	0,5	0,25	0
Q <sub>6</sub>	0,75	0,5	0,75	0,75	1,00	0,5	0,5	0,75	0,75	0,5	0	0,5
Q <sub>7</sub>	1,00	0,5	0,75	0,75	0,75	0,5	1,00	0,75	1,00	0,5	0,25	0,75
Q <sub>8</sub>	1,00	0,5	0,5	0,5	0,75	0,5	0,5	0,5	0,25	0,5	0	0,75
Q <sub>9</sub>	1,00	1,00	0,5	0,75	0,25	0,25	0,5	0,25	0	0,75	0,75	0,75
Q <sub>10</sub>	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,5	0,75
Q <sub>11</sub>	0,25	0,5	0,75	1,00	0,5	0,75	1,00	0,25	0	0,75	0,5	0,5
Q <sub>12</sub>	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75	0,75	1,00
Q <sub>13</sub>	1,00	1,00	0,75	0,5	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	0,75	0,5
Q <sub>14</sub>	0	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	0,25	0,75	0,75	0,25	1,00
Q <sub>15</sub>	1,00	1,00	0,75	0,25	1,00	0,75	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75
Q <sub>16</sub>	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,25	1,00	0,75	0	0,75	0,75	1,00
Q <sub>17</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,25	1,00	0,25	0	0,25	0,25	1,00
Q <sub>18</sub>	1,00	0,75	0,25	0,25	1,00	0,75	0,75	0,25	0,75	1,00	0,25	0,75
Q <sub>19</sub>	1,00	0,75	0,75	1	0,5	0,75	0,75	0,5	0,75	0,75	1,00	0,5
Q <sub>20</sub>	1,00	0,75	0,5	0,5	0,75	0,5	0,75	0,75	0,5	0,75	1,00	0,5
Q <sub>21</sub>	0,75	0,75	0,75	0,75	0,5	0,75	1,00	1,00	0,5	0,5	0,5	1,00
Q <sub>22</sub>	0,75	0,5	0,75	0,5	0,75	0,75	0,75	1,00	0,5	0,5	0,5	0,75
Q <sub>23</sub>	0,75	0,75	0,75	0,75	0,5	0,75	1,00	1,00	0,5	0,5	0,5	1,00
Q <sub>24</sub>	0,75	0,75	0,75	0,5	0,75	0,75	1,00	0,5	0,25	0,5	0,5	0,75
Q <sub>25</sub>	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	1,00
Q <sub>26</sub>	1,00	1,00	0,75	0,5	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,5
Q <sub>27</sub>	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0	0	0	0,25	1,00	0,5	0
Q <sub>28</sub>	1,00	1,00	0,75	1,00	0,75	0,5	1,00	0,75	0,75	1,00	0,75	1,00
Q <sub>29</sub>	0,75	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	0,5	0,25
Q <sub>30</sub>	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Q <sub>31</sub>	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00
Q <sub>32</sub>	1,00	0,75	1,00	0,5	0,5	0,5	1,00	0,75	0,75	0,75	0,5	1,00
Q <sub>33</sub>	0,75	0,75	0,75	0,5	1,00	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,5	0,75
Q <sub>34</sub>	1,00	0,75	1,00	0,25	0,25	0,25	0,75	0	0,75	0,25	0	0,5
Q <sub>35</sub>	0,75	0,75	0,75	0,75	0,25	0,75	1,00	0,75	1,00	0,25	0,5	0,25
Q <sub>36</sub>	0,5	0,25	0,75	0,75	0,75	1,00	0,75	0,5	0,75	0,25	0,25	0,75
Q <sub>37</sub>	0,5	0,5	1,00	0,75	0,5	0,75	0,75	0,75	0,5	0,5	0,5	0,75
Q <sub>38</sub>	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	0,5	0,75	1,00
<b>Soma</b>	<b>29,25</b>	<b>26,75</b>	<b>28,25</b>	<b>24,25</b>	<b>26,75</b>	<b>24,75</b>	<b>31,25</b>	<b>24,25</b>	<b>24,75</b>	<b>24,5</b>	<b>20,25</b>	<b>26,25</b>
<b>Média</b>	<b>0,77</b>	<b>0,70</b>	<b>0,74</b>	<b>0,64</b>	<b>0,70</b>	<b>0,65</b>	<b>0,82</b>	<b>0,64</b>	<b>0,65</b>	<b>0,64</b>	<b>0,53</b>	<b>0,69</b>
	2º	5º	3º	9º	4º	8º	1º	10º	7º	11º	12º	6º
	PIB	At Econ	Proc /Of	Tx Cbio	Conf OPEP	Crs Fin	Petró leo	Pos. Conf	Borr Sint.	Borr Nat	Arm azen	Aço

Fonte: Pesquisa

## Anexo 5 - Construção da Rede Bayesiana

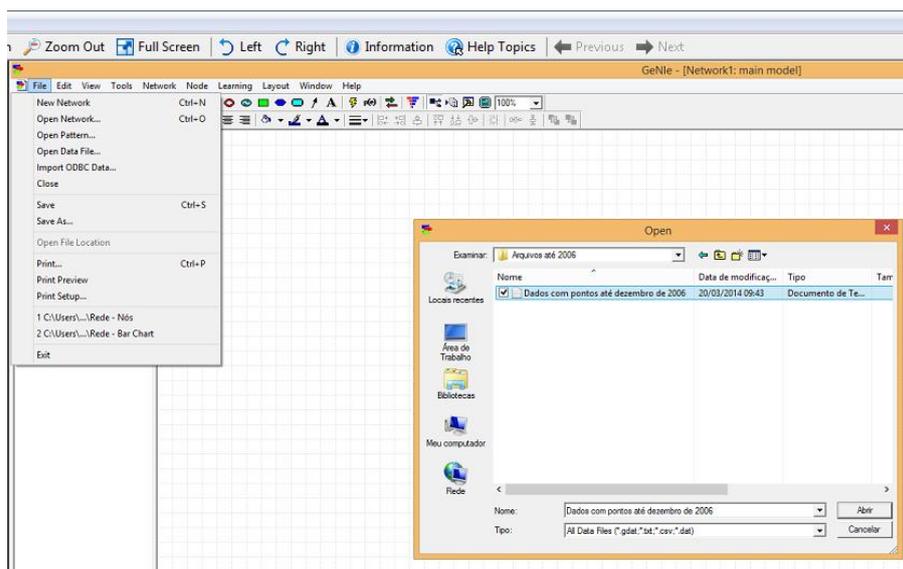
O GeNle é um software que dá suporte à criação, manipulação e avaliação de Redes Bayesianas, permitindo a construção de modelos Gráficos de decisão. O *software* representa a rede graficamente através de um diagrama onde as variáveis são exibidas como nós e as dependências condicionais exibidas como arcos entre as variáveis. A cada nó é atribuída uma Tabela de probabilidades assim como definidas as evidências que podem ser observadas no Cenário que está a ser modelado.

O aplicativo disponibiliza vários algoritmos para realizar a inferência probabilística e de estrutura. As vantagens de se utilizar o *software* em questão é que além de ser *free*, ele possui *interface* gráfica, algoritmos para aquisição, representação e utilização de conhecimento, um mesmo modelo pode ser utilizado para avaliar, prever, diagnosticar ou otimizar decisões e existe a possibilidade de combinar o conhecimento do pesquisador com àquele incorporado aos dados, isto é, permite a intervenção parcial ou total do perito na construção das redes.

Por outro lado, o espaço necessário para armazenar todas as probabilidades de problemas mais complexos é muito grande, bem como o esforço computacional necessário, este protótipo é exigente em termos de conhecimentos teóricos e trabalha apenas com variáveis discretas, embora ele permita a realização da discretização.

O *software* GeNle 2.0 não realiza a leitura de arquivos diretamente do Microsoft Excel, por este motivo é necessário fazer cópias de maneira adequada no bloco de notas. Assim, após a cópia, o arquivo é executado através do *software* GeNle, basta selecionar “*Open Data File...*” na aba *File* como pode ser verificado na Figura 25:

Figura 25 – Abrindo o conjunto de dados com o *software* GeNle 2.0



Fonte: Software GeNIe 2.0

O resultado alcançado a partir da abertura de dados na Figura 17 é ilustrado pela Figura 26:

Figura 26– Conjunto de dados no *software* GeNIe 2.0

	Butadieno Average	Aço Laminado a frio	PIB dos países da OPEP	Petróleo bruto Brent Price (E.U. dólares por barril)
	485.02	530.0	5613.31	13.35
	476.75	530.0	5613.31	12.28
	462.97	530.0	5613.31	12.92
	473.99	540.0	5613.31	15.1
	432.66	540.0	5848.23	16.96
	396.83	545.0	5848.23	16.74
	376.99	550.0	5848.23	18.68
	369.27	550.0	5848.23	19.87
	391.32	560.0	5848.23	18.46
	440.92	560.0	5848.23	17.57
	540.13	560.0	5848.23	17.69
	575.96	550.0	5848.23	17.12
	555.56	550.0	5848.23	17.8
	584.22	550.0	5848.23	19.03
	644.85	550.0	5848.23	19.21
	672.41	540.0	5848.23	19.85
	719.26	530.0	6358.31	21.25
	716.5	520.0	6358.31	19.93
	661.39	510.0	6358.31	18.37
	655.87	500.0	6358.31	16.49
	639.34	500.0	6358.31	16.34
	610.68	510.0	6358.31	15.05

Fonte: Software GeNIe 2.0

Neste trabalho, observa-se a presença de variáveis contínuas (cotação do butadieno, preço do aço, cotação do petróleo, PIB e preço da borracha sintética) então para ser possível o trabalho com o *software* devemos realizar a discretização destas variáveis através dos métodos incorporados no aplicativo.

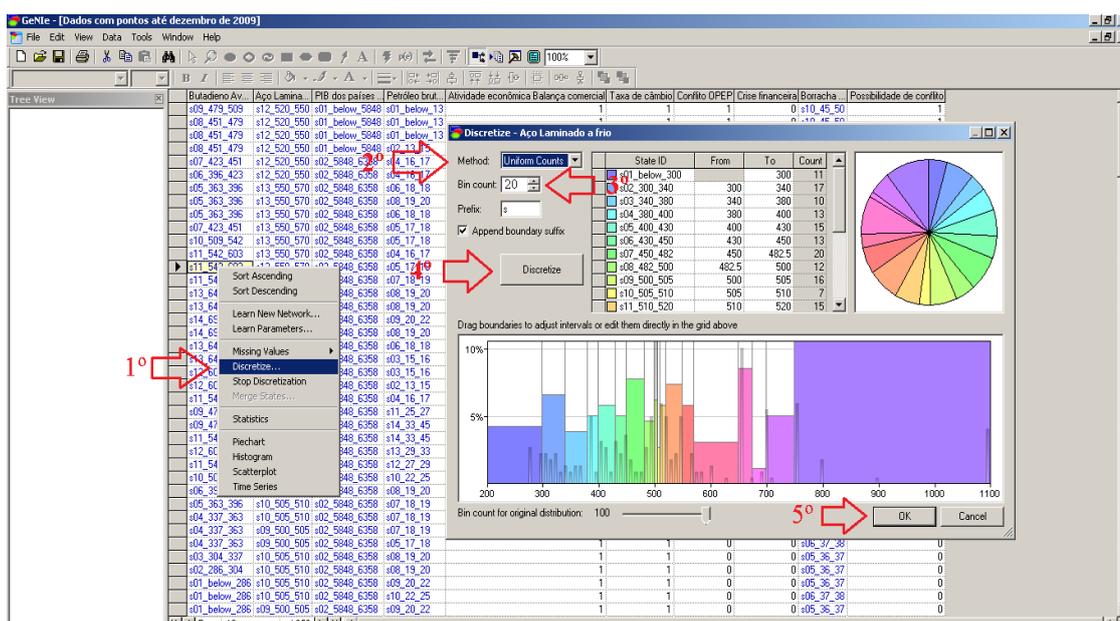
Um ganho notável com a discretização é a diminuição do uso de memória, conjuntos de dados que possuem atributos com muitos valores distintos podem, depois de discretizados, serem representados de forma muito mais compacta. Isso diminui os problemas relacionados com a manutenção de memória e acelera o processo de aprendizagem da máquina.

Neste contexto, utilizou-se o algoritmo *Equal-frequency Binning*, no qual o usuário escolhe a frequência ( $k$ ) dos valores por intervalos, assim o algoritmo cria os intervalos de modo que cada um contenha aproximadamente ( $N/k$ ) instância em que  $N$  é o número total de dados observados em cada variável.

Um classificador ótimo para um método de discretização é sua velocidade, simplicidade e o número mínimo de intervalos que melhoram o conjunto de dados e a aprendizagem da rede.

Para realizar a discretização no aplicativo basta clicar na variável de interesse com o botão direito do *mouse*, em seguida selecionar a opção “Discretizar...”, na nova janela seleciona-se “Uniform Counts” no *combobox* “Method” e 20 no *countbox* “Bit count” (quantidade de intervalos), ao clicar no botão “Discretize” e em seguida no botão “OK” ter-se-á como resultado a Figura 26. A Figura 27 descreve de maneira gráfica os procedimentos descritos neste parágrafo.

Figura 27– Discretização da variável butadieno



Analogamente realiza-se a discretização das outras variáveis contínuas, com o mesmo algoritmo, e com a mesma quantidade de intervalos, o motivo de se escolher esse número é justificada pela definição de classificador ótimo exposta anteriormente.

Neste trabalho não houve a necessidade de fazer a estimação por parâmetros e de estrutura, uma vez que, a rede foi estruturada a partir dos conhecimentos mercadológicos da pesquisadora, como foi citado neste texto outrora, porém o *software* disponibiliza alguns algoritmos de inferência de estruturas tais como: *Bayesian Search*, *PC*, *Essential Graph Search*, *Greddy Thick Thinning*, *Tree Argumented Naive Bayes*, *Argumented Naive Bayes* e *Naive Bayes*.

O resultado da discretização pode ser verificado na Figura 28 onde cada uma das variáveis quantitativas foram divididas em faixas de valores. Na figura, cada célula representa o intervalo que o dado obtido no procedimento de amostragem pertence.

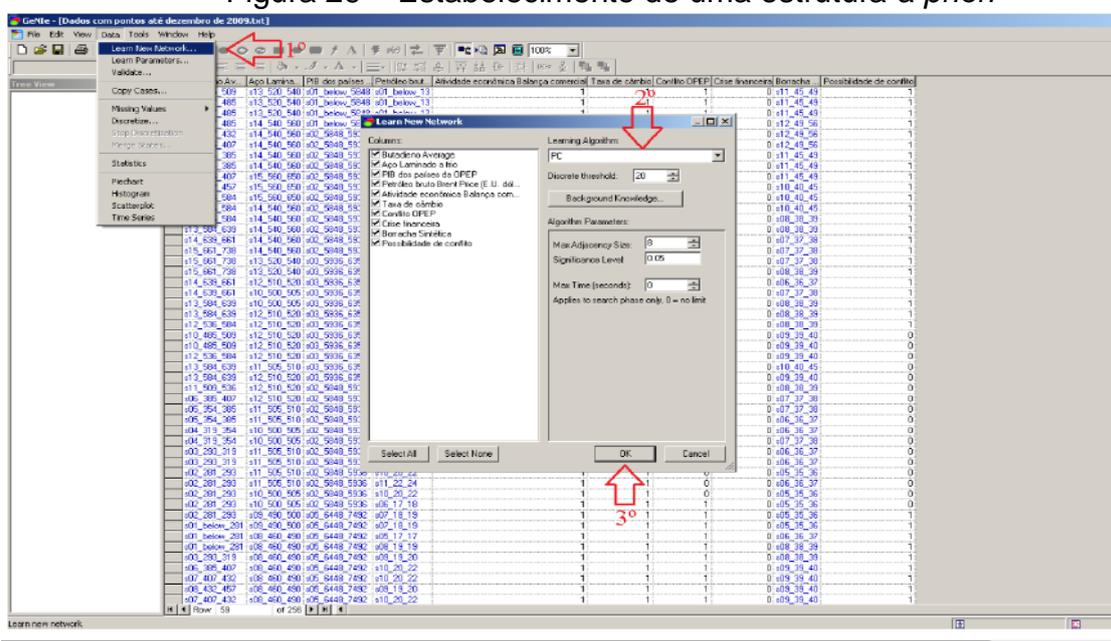
Figura 28– Resultado da discretização

Butadieno Av...	Aço Lamina...	PIB dos paíse...	Petróleo brut...	Atividade econômica	Balança comercial	Taxa de câmbio	Conflito OPEP	Crise financeira	Borracha ...	Possibilidade de conflito
s14_474_493	s20_530_540	s01_below_584	s02_12_14		1	1	1	0	s17_48_50	1
s14_474_493	s20_530_540	s01_below_584	s02_12_14		1	1	1	0	s17_48_50	1
s13_455_474	s20_530_540	s01_below_584	s02_12_14		1	1	1	0	s17_48_50	1
s14_474_493	s21_540_550	s01_below_584	s04_15_16		1	1	1	0	s18_50_55	1
s11_422_435	s21_540_550	s02_5848_5937	s07_17_18		1	1	0	0	s18_50_55	1
s09_386_401	s21_540_550	s02_5848_5937	s07_17_18		1	1	0	0	s18_50_55	1
s08_367_386	s22_550_570	s02_5848_5937	s13_19_20		1	1	0	0	s17_48_50	1
s08_367_386	s22_550_570	s02_5848_5937	s15_20_21		1	1	0	0	s18_50_55	1
s09_386_401	s22_550_570	s02_5848_5937	s10_18_19		1	1	0	0	s16_43_48	1
s12_435_455	s22_550_570	s02_5848_5937	s10_18_19		1	1	0	0	s16_43_48	1
s17_527_551	s22_550_570	s02_5848_5937	s10_18_19		1	1	0	0	s16_43_48	1
s18_551_584	s22_550_570	s02_5848_5937	s07_17_18		1	1	0	0	s15_41_43	1
s18_551_584	s22_550_570	s02_5848_5937	s10_18_19		1	1	0	0	s14_40_41	1
s19_584_634	s22_550_570	s02_5848_5937	s13_19_20		1	1	0	0	s13_39_40	1
s21_645_661	s22_550_570	s02_5848_5937	s13_19_20		1	1	0	0	s11_38_39	1
s22_661_717	s21_540_550	s02_5848_5937	s15_20_21		1	1	0	0	s11_38_39	1
s23_717_831	s20_530_540	s05_6358_6448	s16_21_24		1	1	0	0	s11_38_39	1
s23_717_831	s19_520_530	s05_6358_6448	s15_20_21		1	1	0	0	s13_39_40	1
s22_661_717	s18_510_520	s05_6358_6448	s10_18_19		1	1	0	0	s11_38_39	1
s21_645_661	s16_500_505	s05_6358_6448	s05_16_17		1	1	0	0	s11_38_39	1
s20_634_645	s16_500_505	s05_6358_6448	s05_16_17		1	1	0	0	s13_39_40	1
s19_584_634	s18_510_520	s05_6358_6448	s04_15_16		1	1	0	0	s13_39_40	1
s18_551_584	s18_510_520	s05_6358_6448	s07_17_18		1	1	0	0	s13_39_40	1
s14_474_493	s18_510_520	s05_6358_6448	s20_27_28		1	1	1	0	s14_40_41	0
s16_507_527	s18_510_520	s05_6358_6448	s23_33_40		1	1	1	0	s15_41_43	0
s18_551_584	s18_510_520	s05_6358_6448	s23_33_40		1	1	1	0	s15_41_43	0
s19_584_634	s17_505_510	s05_6358_6448	s23_33_40		1	1	1	0	s15_41_43	0
s19_584_634	s18_510_520	s05_6358_6448	s21_28_30		1	1	1	0	s14_40_41	0
s16_507_527	s18_510_520	s04_5937_6358	s17_24_25		1	1	1	0	s13_39_40	0
s09_386_401	s18_510_520	s04_5937_6358	s15_20_21		1	1	1	0	s11_38_39	0
s08_367_386	s17_505_510	s04_5937_6358	s13_19_20		1	1	1	0	s11_38_39	0
s07_353_367	s17_505_510	s04_5937_6358	s13_19_20		1	1	1	0	s09_37_38	0
s07_353_367	s16_500_505	s04_5937_6358	s13_19_20		1	1	1	0	s09_37_38	0
s06_336_353	s16_500_505	s04_5937_6358	s10_18_19		1	1	0	0	s11_38_39	0
s05_315_336	s17_505_510	s04_5937_6358	s13_19_20		1	1	0	0	s09_37_38	0
s04_292_315	s17_505_510	s04_5937_6358	s15_20_21		1	1	0	0	s09_37_38	0
s02_276_287	s17_505_510	s04_5937_6358	s15_20_21		1	1	0	0	s09_37_38	0
s03_287_292	s17_505_510	s04_5937_6358	s16_21_24		1	1	0	0	s11_38_39	0
s03_287_292	s16_500_505	s04_5937_6358	s16_21_24		1	1	0	0	s09_37_38	0

Fonte: Software GeNIe 2.0

Após a discretização, é necessário selecionar o algoritmo de treinamento com o qual se pretende realizar a inferência da estrutura e qual o nível de significância a ser utilizado. Neste caso, utilizamos o algoritmo PC, pois ele assume como premissa que as variáveis são independentes, com um nível de significância de 0,05, para executá-lo no software basta clicar em “Data” escolher “Learn New Network” e escolher “PC” no *combobox* “Learning Algorithm”, na nova janela que se abrirá, esse procedimento é ilustrado pela Figura 29:

Figura 29 – Estabelecimento de uma estrutura *a priori*

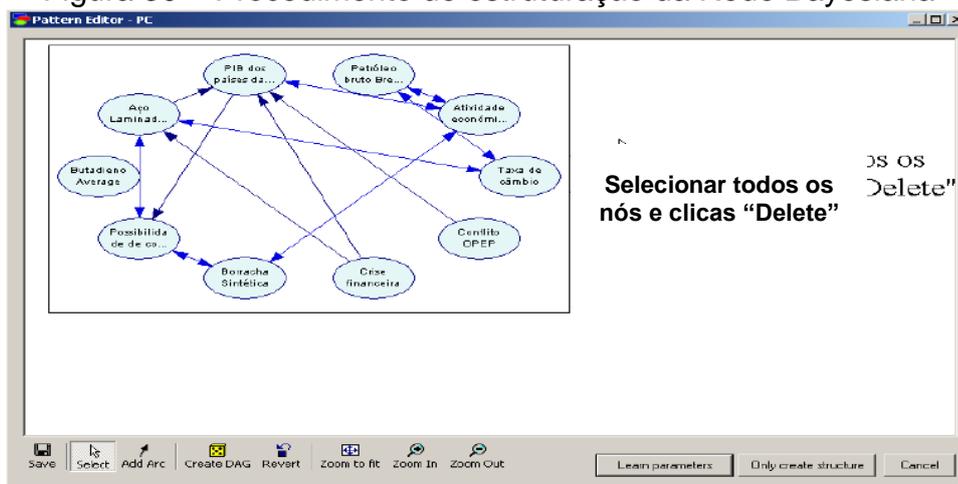


Fonte: Software GeNIe 2.0

Na Figura 20, é possível observar a Tabela de correlação entre as variáveis, o que reforça o estabelecimento dos laços da RB estruturada. Para executá-la basta clicar na aba “Data” e selecionar “Statistics” e na nova janela que abrir escolher a aba “Correlation matrix”.

A rede resultante inferida pelo algoritmo (Figura 30), em que também é exibido o passo à passo para desfazer as relações de dependência fixadas pelo algoritmo. É necessário lembrar-se que as relações estão sendo desfeitas, pois a estrutura que será utilizada já foi fixada anteriormente na própria pesquisa.

Figura 30 – Procedimento de estruturação da Rede Bayesiana



Fonte: Resultados da pesquisa

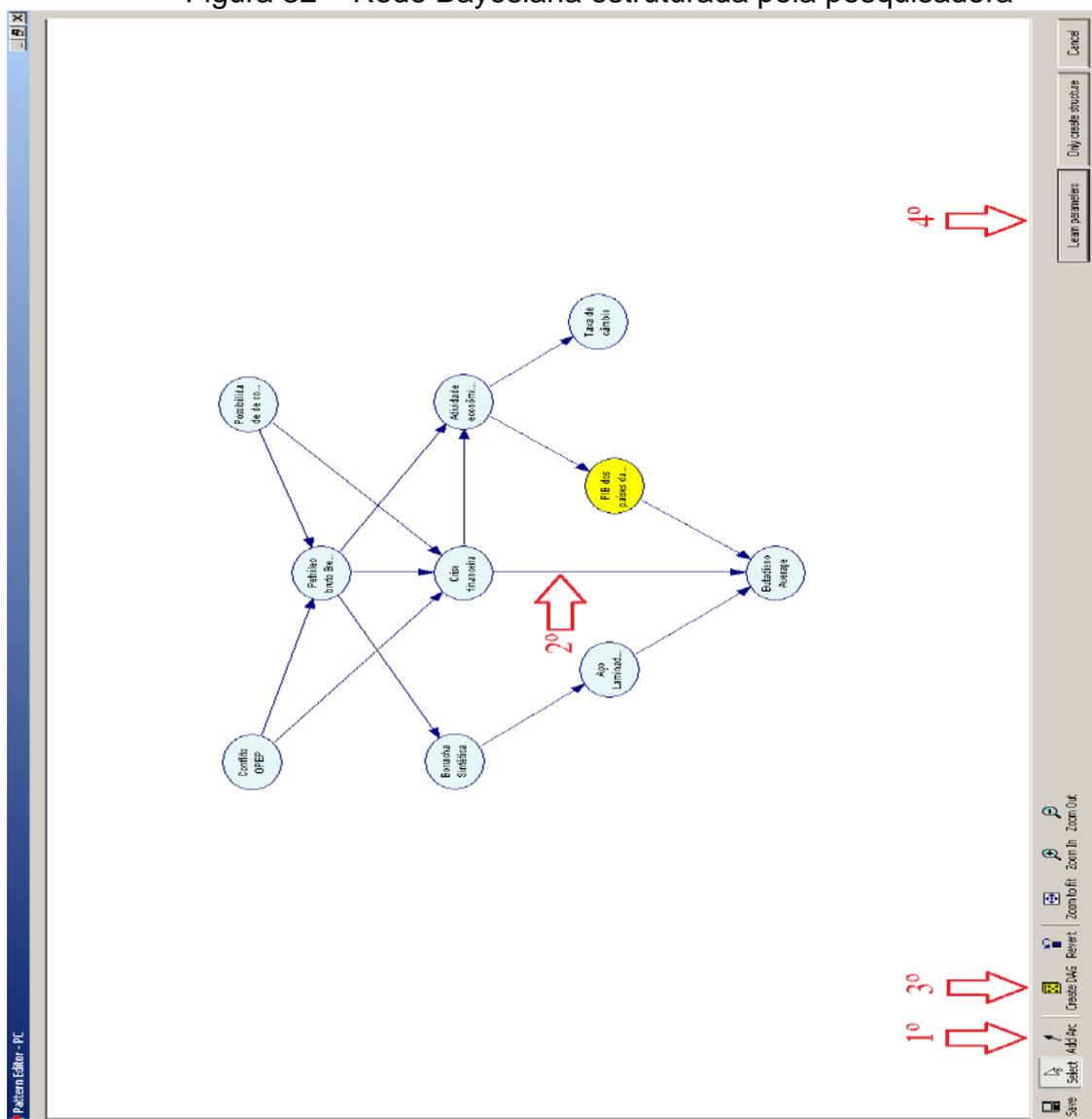
Figura 31– Matriz de Correlação entre as variáveis

The screenshot shows the Nero PhotoSnap Viewer displaying a correlation matrix. The table lists the following variables: Butadieno Average, Aço Laminado a frio, PIB dos países da OPEP, Petróleo bruto Brent Price (E.U. dólares por ...), Atividade econômica Balança comercial, Taxa de câmbio, Conflito OPEP, Crise financeira, Borracha Sintética, and Possibilidade de conflito. The matrix shows the correlation coefficients between these variables.

	Butadieno ...	Aço Lamin...	PIB dos pa...	Petróleo br...	Atividade e...	Taxa de câ...	Conflito O...	Crise finan...	Borracha S...	Possibilita...
Butadieno Average	-									
Aço Laminado a frio	0.704851	-								
PIB dos países da OPEP	0.854121	0.491514	-							
Petróleo bruto Brent Price (E.U. dólares por ...)	0.90722	0.630686	0.914661	-						
Atividade econômica Balança comercial	-0.0252886	0.223579	-0.202558	-0.0447395	-					
Taxa de câmbio	-0.333642	-0.156768	-0.482322	-0.385687	0.115936	-				
Conflito OPEP	0.00914311	-0.0645609	0.223077	0.125582	-0.207812	-0.0506486	-			
Crise financeira	-0.208179	-0.189357	-0.125358	-0.21882	-0.101945	0.225325	0.174496	-		
Borracha Sintética	0.672063	0.771244	0.604278	0.647033	-0.0283781	-0.207116	0.103642	-0.0711064	-	
Possibilidade de conflito	-0.123432	-0.206002	-0.252126	-0.212634	0.262443	0.0418602	-0.521122	-0.187511	-0.245838	-

Fonte: Resultados da pesquisa

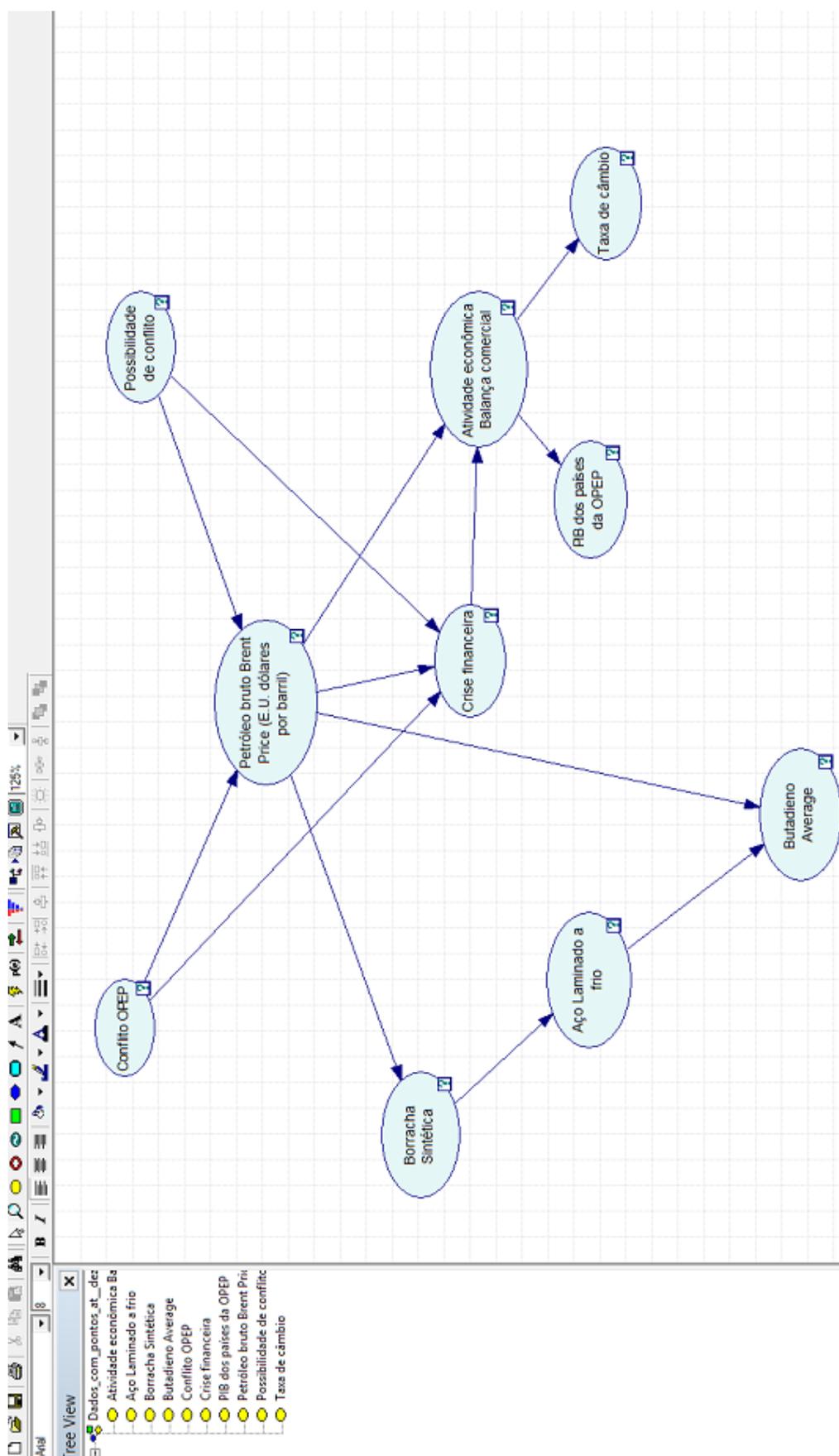
Figura 32 – Rede Bayesiana estruturada pela pesquisadora



Fonte: Software GeNIe 2.0

Para realizar a estruturação da rede basta clicar em “Add Arc” para adicionar uma relação pai-filho, após estruturada toda a rede, basta selecionar todos os nós com o *mouse* e clicar em “Create DAG” e em seguida no botão “Learning parameter”. Então o aplicativo exibirá a tela gráfica ilustrada pela Figura 33.

Figura 33 – Rede Bayesiana para a commodity butadieno estruturada



Fonte: Software GeNIe 2.0.

Estabelecida a Rede Bayesiana que será trabalhada, é possível testá-la quanto a inferência do preço do butadieno a curto e médio prazo.

Na próxima seção serão exibidos os resultados dos procedimentos de inferência através do treinamento da rede com o algoritmo *Clustering*.