

SOLANGE OSÓRIO STUMPF

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PARA PROJEÇÕES DE
PREÇOS DE POLIETILENOS NO MERCADO PETROQUÍMICO
BRASILEIRO

Porto Alegre, 2006

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PARA PROJEÇÕES DE
PREÇOS DE POLIETILENOS NO MERCADO PETROQUÍMICO
BRASILEIRO

SOLANGE OSÓRIO STUMPF

Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do título de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. João Luiz Becker

Porto Alegre, 2006

Dedico este trabalho ao meu pai Enor e à minha mãe Maria de Lourdes (in memoriam), pela orientação e apoio aos estudos que me foi dada.

Ao meu marido Sílvio e aos meus filhos Sofia e Leonardo, agradeço o carinho e a compreensão ao longo do tempo que dediquei ao mestrado e à dissertação, deixando de conviver com eles com mais intensidade neste período.

AGRADECIMENTOS

Agradeço de uma forma geral a todas as pessoas que conviveram comigo ao longo do percurso deste mestrado, com as quais pude compartilhar meus objetivos, expectativas, anseios e o grande aprendizado que o curso deixou para a minha vida profissional e pessoal.

Quero agradecer em especial, os ensinamentos do meu orientador, Professor Doutor João Luiz Becker, que acompanhou com grande interesse e presteza o desenvolvimento desta dissertação. O apoio e incentivo, com a sua larga experiência na área foram fundamentais para a qualidade do trabalho desenvolvido.

O apoio que me foi dado pelo Mestre Milton Aluísio G. Araújo, na aplicação da técnica de Redes Neurais Artificiais com o uso do software Matlab foi extremamente importante para o meu aprendizado e desenvolvimento do modelo proposto. Agradeço imensamente a sua contribuição e dedicação.

Aos meus familiares, sócios, amigos, professores, colegas de trabalho, funcionários da Escola de Administração da Ufrgs e colegas do mestrado, deixo a minha gratidão e carinho pelo apoio e convívio ao longo desta jornada.

RESUMO

O presente estudo propõe um modelo de projeção de preços de curto-prazo para os polietilenos no mercado petroquímico brasileiro. O modelo foi desenvolvido através de testes com o uso das técnicas de regressão múltipla e de redes neurais artificiais (RNA) como instrumentos de previsão, comparando-se os resultados das mesmas. A seleção das variáveis com capacidade explicativa deu-se através de revisão de literatura, opinião de *experts* e regressão múltipla. Ficou evidenciada a existência de correlações satisfatórias com as variáveis: preço do petróleo, preço das matérias-primas nafta e eteno no mercado doméstico e preços dos polietilenos no mercado internacional. A base de dados consiste em indicadores mensais relativos ao período de março de 2002 a dezembro de 2005, sendo que a aferição dos resultados foi realizada para o período de janeiro a junho de 2006. Os resultados obtidos pela aplicação da técnica de RNA mostraram um incremento na precisão frente à regressão. O erro relativo médio na aferição com o uso de RNA se situou na faixa de 2,9 a 13,4%, para previsão 6 meses a frente, o que sugere a adoção da mesma na implementação futura do modelo construído.

Palavras-chave: modelo, projeção, preços, polietilenos, petroquímica, redes neurais.

ABSTRACT

This study proposes a model for forecasting short-term polyethylene prices in the Brazilian petrochemical market. The model was developed by means of tests using multiple regression techniques and Neural Networks as forecasting instruments, and compared their results. The variables with explanatory capacity were selected by reviewing literature, the opinion of experts, and multiple regression. Satisfactory correlations were found to be existent in the following variables: price of petroleum, price of the raw materials naphtha and ethylene in the domestic market, and polyethylene prices in the international market. The database consists of monthly indicators related to the period of March 2002 to December 2005 and the measuring of the results was carried out from January to June of 2006. The results obtained by applying the Neural Networks technique saw an increase in the precision in comparison with the regression. The average relative error in the measurement when using Neural Networks fell in the range of 2.9 to 13.4% for a forecast of 6 months ahead, which suggests that this should be adopted in the future implementation of the model built.

Key Words: model, forecast, prices, polyethylenes, petrochemical, neural networks

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: A lógica de um ciclo de rentabilidade na indústria petroquímica mundial	20
Figura 2: A Cadeia produtiva da indústria petroquímica brasileira, da matéria-prima até o mercado consumidor.....	28
Figura 3: Desenho de pesquisa para a projeção de preços de petroquímicos no Brasil.	42
Figura 4: Modelo não-linear de um neurônio de uma rede neural (artificial).....	47
Figura 5: Relação de preços entre as matérias-primas na cadeia produtiva dos polietilenos	51
Figura 6: Relação entre os <i>drivers</i> de mercado que influenciam a formação dos preços dos polietilenos no Brasil	54
Figura 7: Desenho do modelo desenvolvido para a projeção de preços de polietilenos para o médio-prazo no Brasil.	86
Quadro 1 –Descrição das variáveis para os testes relacionados ao PEAD	55
Quadro 2 – Descrição dos tipos de produtos para implementação futura do modelo de projeção de preços.....	84

Gráfico 1: Relação de preços históricos de nafta ARA e o petróleo Brent	23
Gráfico 2: Ciclo de rentabilidade da indústria petroquímica nos Estados Unidos	24
Gráfico 3: Capacidade adicional anunciada de polietilenos no mundo	25
Gráfico 4: Evolução dos preços mensais dos polietilenos no Brasil, em dólares, no período de março de 2002 a junho de 2006.....	36
Gráfico 5: Evolução da inflação e da taxa de juros no Brasil no período de março de 2002 a junho de 2006.....	37
Gráfico 6: Evolução da taxa média mensal do real frente ao dólar americano no período de março de 2002 a junho de 2006.....	38
Gráfico 7: Análise da correlação de preços do petróleo Brent e da nafta no Brasil.	58
Gráfico 8: Análise da correlação de preços da nafta e do eteno no Brasil.....	59
Gráfico 9: Análise da correlação de preços do eteno e do PEAD grau sopro no Brasil.	61
Gráfico 10: Comparação entre os preços efetivos e os preços projetados a cada período para o PEBDL, entre os meses de janeiro a junho de 2006, com base na regressão múltipla.	72
Gráfico 11: Análise do impacto relativo entre as variáveis nos testes de treinamento para o PEAD com o uso de Redes Neurais Artificiais para os períodos de n+1 a n+6.	77
Gráfico 12: Análise comparativa dos preços efetivos de PEAD com os projetados mensalmente para o período de janeiro a junho de 2006, com base na aplicação da técnica de RNA	82

Gráfico 13: Análise comparativa dos preços efetivos de PEBDL com os projetados mensalmente para o período de janeiro a junho de 2006, com base na aplicação da técnica de RNA.82

Gráfico 14: Análise comparativa dos preços efetivos de PEBD com os projetados mensalmente para o período de janeiro a junho de 2006, com base na aplicação da técnica de RNA83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados da análise de regressão múltipla para os testes de projeção de preço da nafta	60
Tabela 2: Resultados da análise de regressão múltipla para os testes de projeção de preços do eteno.....	60
Tabela 3: Resultados da análise de regressão múltipla para os testes de projeção de preços do PEAD	63
Tabela 4: Erros calculados para a nafta com o uso da técnica de regressão múltipla	62
Tabela 5: Erros calculados para o eteno com o uso da técnica de regressão múltipla	65
Tabela 6: Erros calculados para o PEAD com o uso da técnica de regressão múltipla	66
Tabela 7: Resultados da análise de regressão múltipla para os testes de projeção de preço do PEBD	68
Tabela 8: Resultados da análise de regressão múltipla para os testes de projeção de preço do PEBDL.....	68
Tabela 9: Erros calculados para o PEBD com o uso da técnica de regressão múltipla	69
Tabela 10: Erros calculados para o PEBDL com o uso da técnica de regressão múltipla	69
Tabela 11: Erros calculados para a nafta na aferição do modelo regressão múltipla	70

Tabela 12: Erros calculados para o eteno na aferição do modelo regressão múltipla	70
Tabela 13: Erros calculados para o PEAD na aferição do modelo regressão múltipla	71
Tabela 14: Erros calculados para o PEBD na aferição do modelo regressão múltipla	71
Tabela 15: Erros calculados para o PEBDL na aferição do modelo regressão múltipla	71
Tabela 16: Erros no treinamento para o PEAD com o uso da técnica de redes neurais	78
Tabela 17: Erros no treinamento para o PEBD com o uso da técnica de redes neurais	78
Tabela 18: Erros no treinamento para o PEBDL com o uso da técnica de redes neurais	75
Tabela 19: Erros médios relativos na aferição com o uso da técnica de redes neurais	79
Tabela 20: Análise comparativa dos erros médios relativos na aferição com o uso das técnicas de regressão múltipla e de redes neurais	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química

ARA - Antuérpia, Rotterdan e Amsterdam;

BACEN – Banco Central do Brasil

COPEL - Companhia Petroquímica do Sul

DCE - Dicloroetano

DPR – Desvio Padrão Residual

EIA - Energy Information Administration

GRN – Generalized Regression Neural Nets

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCA – Índice de Preços ao Consumidor Amplo

MATLAB – Matrix Laboratory

MLF – Multi-Layer Feedforward Nets

MLP - Multy-Layer Perceptron

MVC - Monocloreto de vinila

OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo

PQU - Petroquímica União

PEAD - Polietileno de alta densidade

PEBD - Polietileno de baixa densidade

PEBDL - Polietileno de baixa densidade linear

PET - Polietileno tereftalato

WTI - West Texas Intermediate

PP - Polipropileno

PS - Poliestireno

PTA - Ácido tereftálico purificado

PVC - Policloreto de vinila

RNA – Redes Neurais Artificiais

UHMWPE – Polietileno de elevado peso molecular

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	13
2 OBJETIVOS DO TRABALHO	16
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL	16
2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	16
3 ESTRUTURAÇÃO DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA NO MUNDO	18
3.1 A LÓGICA DO MERCADO PETROQUÍMICO	18
3.2 TRANSFORMAÇÕES ESTRUTURAIS DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA INTERNACIONAL.....	21
4 CONFIGURAÇÃO DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA E DO SETOR DE PLÁSTICO NO BRASIL	27
4.1 CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DA PETROQUÍMICA BRASILEIRA	27
4.2 ANÁLISE DO MERCADO DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS.....	30
5 FORMAÇÃO DE PREÇOS NA CADEIA INSUMO-PRODUTO DA PETROQUÍMICA BRASILEIRA.....	32
5.1 MODELO DE FORMAÇÃO DE PREÇOS DA CADEIA PETROQUÍMICA	32
5.2 ANÁLISE DAS SÉRIES HISTÓRICAS DE PREÇOS.....	35
6 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS	40
6.1 METODOLOGIA DE TRABALHO	40
6.2 ESCOLHA DO MÉTODO DE PREVISÃO	44
7 MODELAGEM PROPOSTA PARA A PROJEÇÃO DE PREÇOS DE POLIETILENOS	49

7.1 IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS	49
7.1.1 Variáveis Dependentes	49
7.1.2 Variáveis Independentes	50
7.2 RESULTADOS OBTIDOS	55
7.2.1 Testes com Regressão	55
7.2.2 Teste com Redes Neurais Artificiais (RNA)	73
8 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS PROJEÇÕES E SUAS IMPLICAÇÕES GERENCIAIS	80
8.1 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	80
8.2 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS	83
CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS	90

1 APRESENTAÇÃO

A indústria petroquímica se caracteriza tanto pelo alto valor dos capitais investidos quanto por produzir *commodities*. O mercado é regido por balanços regionais entre oferta e demanda, o que favorece a ocorrência de ciclos petroquímicos em escala mundial. Os elementos decisivos que regem os preços de *commodities* na cadeia petroquímica, de acordo com Intellichem (2002), são as matérias-primas, os índices de conversão de custos e as margens, sendo estas as que suportam os investimentos.

Nos últimos anos, também em proporções mundiais, o setor vem enfrentando grandes transformações estruturais. Os ciclos, que retratam as oscilações de rentabilidade do negócio, mudam ao longo do tempo, devido à competição cada vez mais acirrada na indústria química (SRI CONSULTING, 2000). A frequência de cada nova ocorrência interfere, por exemplo, no ritmo de desenvolvimento tecnológico dos produtos, definindo que o prazo de instalação de nova capacidade produtiva seja maior ou menor. As flutuações de margens e preços são maiores conforme a evolução das escalas produtivas, que tendem a aumentar, gerando rapidamente novas ofertas de produto, e intensificando a volatilidade do mercado.

O conhecimento da lógica da indústria petroquímica, no que diz respeito a sua estrutura, bem como o acompanhamento das tendências de mercado e tecnologia, são fundamentais para a tomada de decisão empresarial neste setor. Um dos principais instrumentos utilizados na avaliação de um negócio petroquímico é a projeção de margens e preços, que refletem de forma quantitativa as flutuações e direcionamentos do mercado em uma determinada região.

Com base em informações de mercado e cenários macroeconômicos, as principais consultorias internacionais do setor projetam preços de produtos petroquímicos em regiões que dominam este mercado. Tais projeções são utilizadas por diversas organizações no seu planejamento. Os consultores do CMAI –

Chemical Market Associates¹, entre outros, desenvolveram e implementaram modelos de previsão de preços e margens para diversos produtos petroquímicos específicos para os mercados dos Estados Unidos, Europa Ocidental e Ásia.

No Brasil, o mercado petroquímico é aberto, ou seja, sofre constante concorrência do produto importado, como também exporta seus produtos para diversos países. Com isso, tem na cotação internacional um dos grandes balizadores dos preços praticados no mercado doméstico. No entanto, sabe-se que fatores internos também afetam diretamente as relações de preços e margens obtidas pela petroquímica brasileira, como por exemplo, o aumento vertical da capacidade produtiva de determinado produto e as constantes flutuações de mercado. Isto porque a indústria petroquímica brasileira é de grande porte, com escala competitiva. O Brasil tem participação relativamente alta no comércio internacional de produtos petroquímicos, com 4,4% do comércio internacional de resinas termoplásticas, incluindo os polietilenos (CMAI, 2005; MAXIQUIM, 2005). O tamanho e o potencial de crescimento do mercado interno são da mesma forma volumosos, o que faz com que os preços não sejam regidos somente pelo mercado externo, mas sofram também interferência de fatores regionais.

Neste sentido, os preços de grande parte dos produtos petroquímicos no Brasil, seguem a sua própria tendência, influenciados pelo mercado mundial, mas também com forte interferência de fatores internos, relacionados basicamente com aspectos de mercado e oferta local desses produtos. É o caso específico dos polietilenos, cujos preços sofreram forte impacto com a entrada de um novo *player* no mercado. A Rio Polímeros partiu sua unidade de polietilenos em dezembro de 2005, com uma capacidade produtiva de 540 mil toneladas por ano.

Segundo Makridakis, *et al.* (1983), projeção é uma importante ferramenta de apoio para a eficácia e eficiência de um planejamento na administração e gestão de uma organização. A projeção de preços de commodities é de interesse da maior parte das áreas do negócio – comercial, finanças, planejamento de produção e gestão. Na indústria petroquímica brasileira, bem como na de transformação de plástico, consumidora de polietilenos, existe uma carência acentuada em previsão

¹ O CMAI – Chemical Market Associates é uma consultoria americana, com sede em Houston, especializada no mercado petroquímico internacional.

de preços para produtos petroquímicos, ferramenta importante para todos os elos da cadeia produtiva. De acordo com Intellichem (2002), os preços de produtos petroquímicos projetados para um horizonte de um ano, são informações fundamentais para o desenvolvimento e execução do planejamento estratégico das empresas, por subsidiar de forma decisiva os processos de tomada de decisão relacionados à gestão do negócio; nas áreas financeira e contábil servem para previsão do fluxo de caixa e de capital investido; enquanto que a área comercial utiliza previsão de preços para negociação com clientes e definição de estratégia de compra.

A **questão de pesquisa** pertinente a esta dissertação é qual o modelo apropriado para as projeções de preços de produtos petroquímicos no Brasil. O interesse deste trabalho está no desenvolvimento de um modelo viável e eficiente para projeções de preços de curto-prazo² para polietilenos no mercado brasileiro. Adaptando-se para o setor petroquímico o conceito de Makridakis, *et al.* (1983) de horizonte de tempo em projeções, considera-se neste caso como curto –prazo o período de 1 mês a 2 anos. Com base na análise dos dados históricos de preços mensais disponíveis e suas correlações com outras variáveis, serão avaliadas as técnicas de previsão para a construção de um modelo de projeção de preços no mercado petroquímico brasileiro.

O modelo desenvolvido poderá vir a ser posteriormente adaptado e aplicado para a projeção de preços de outros produtos petroquímicos, tendo em vista que a lógica do negócio é a mesma, conforme descrito anteriormente. Os preços projetados poderão servir como uma importante ferramenta de análise no planejamento e tomada de decisão em negócios de organizações relacionadas direta ou indiretamente com o setor petroquímico. É um trabalho inédito tendo em vista que não existe atualmente no Brasil, pelo nosso conhecimento, um modelo de projeção de preços de produtos petroquímicos implementado, o que reforça a carência do setor por este tipo de informação, agregando valor aos negócios.

² Segundo MAKRIDAKIS, *et al.* (1983), as projeções podem ser classificadas em termos de horizonte de tempo em Curto-prazo (1 – 3 meses), Médio-prazo (3 meses – 2 anos) e Longo-prazo (mais de 2 anos)

2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O trabalho visa desenvolver e validar um modelo de projeção para os preços de polietilenos no Brasil, a fim de implementar um mecanismo de monitoramento permanente de preços previstos para o futuro. A expectativa é de que o modelo validado para os polietilenos possa vir a ser futuramente adaptado para aplicação nas projeções de preços de outros produtos petroquímicos, com agilidade e confiabilidade, a partir de recursos disponíveis e de novos indicadores que surjam.

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

- Desenvolver e validar um modelo de projeção no curto-prazo para os preços de polietilenos no Brasil. O modelo a ser construído deverá apresentar erros médios relativos pequenos (consistentes com as necessidades do mercado) para a previsão de preços mensais desses produtos.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

- Avaliar comparativamente os resultados obtidos pela aplicação dos métodos matemáticos de Regressão Múltipla e Redes Neurais Artificiais

- (RNA), e indicar o mais apropriado para a previsão de curto-prazo dos preços dos polietilenos no Brasil.
- Viabilizar a implementação da projeção de preços de polietilenos no curto-prazo, para um período mínimo de 6 meses, a fim de apoiar as organizações relacionadas com o setor petroquímico nas suas atividades de planejamento.
- Oferecer suporte à utilização do modelo desenvolvido como instrumento de previsão para outros produtos petroquímicos, com objetivo de implementar futuramente um modelo integrado de projeção de preços para o grupo de resinas termoplásticas, no qual se incluem os polietilenos.

3 ESTRUTURAÇÃO DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA NO MUNDO

Este capítulo faz uma abordagem acerca do negócio petroquímico mundial. São identificados os principais aspectos inerentes ao mercado e sua relação com a rentabilidade dos negócios, assim como as mudanças estruturais que vêm afetando mais recentemente esta indústria. Objetiva-se contextualizar a lógica de precificação de produtos petroquímicos, cujo entendimento é essencial para a previsão de preços, foco deste trabalho.

3.1 A LÓGICA DO MERCADO PETROQUÍMICO

A indústria petroquímica tem no petróleo e no gás natural suas principais fontes de matéria-prima, sendo que ambos são também importantes fontes energéticas no mundo. Na cadeia de produção de polímeros, a matéria-prima pode ser a nafta, oriunda do petróleo, ou o etano, que é produzido a partir do gás natural. Isto demonstra que esta indústria é extremamente dependente dos direcionamentos da matriz energética, que vem sofrendo grandes mudanças nos últimos tempos. O cenário para o longo-prazo é de escassez, segundo análise da consultoria internacional Purvin e Gertz (2001), especializada no setor de gás e energia.

A análise do fator matéria-prima é essencial para entender o negócio petroquímico, tendo em vista esta indústria produzir basicamente produtos ditos “commodities”, ou seja, cujas margens e preços são fortemente influenciados pelo custo de produção. Neste caso, pode-se dizer que o valor do produto é implícito mesmo quando estes não estão sendo comercializados, já que o custo da matéria-

prima tem uma participação importante como balizadora dos preços, apesar do fator mercado também ser determinante.

A composição de preços na indústria petroquímica mundial sofre maior ou menor influência do mercado dependendo da posição do produto na cadeia produtiva. Quanto mais distante o produto está do mercado final, menor é a interferência do mercado na formação do seu preço. Na cadeia produtiva de polímeros, por exemplo, os preços das matérias-primas como a nafta, etano, eteno e propeno, são determinados em contratos, através da aplicação de fórmulas flexíveis acordadas entre as partes envolvidas. Os fatores determinantes nestes casos são: custos de produção, de transporte, spread de preços, prêmio, preço mínimo, entre outros.

No caso dos polímeros, os preços praticados são considerados de mercado oligopolista, onde além dos fatores citados, influenciam aspectos relacionados com o balanço entre a oferta e demanda da indústria. De acordo com Nunes (1998), sendo o nível mínimo de preços determinado pelo valor dos insumos, o ajuste das margens e conseqüentemente de preços, é feito numa condição de mercado que se aproxime do conceito de “mercado perfeito”, pelo estado de equilíbrio entre oferta e demanda. Este equilíbrio é fortemente condicionado pela diferença de custos entre líderes e *laggards*, que determina, para cada nível de preços, quantos produtores permanecem no mercado.

O preço também depende do grau de comercialização externa. Produtos como os polímeros e suas matérias-primas são *tradebles*, e dependendo da região são mais ou menos comercializados no mercado exterior. Os países asiáticos, especialmente a China, são atualmente grandes consumidores de polímeros, devido ao forte crescimento na produção de bens finais para suprir o mercado doméstico e as exportações globais (CMAI, 2006). Com isso nos últimos anos o mercado asiático passou a ser importante referência na formação de preços internacionais, além das regiões tradicionais como os Estados Unidos e países europeus.

Um dos aspectos mais importantes para o entendimento da lógica da indústria petroquímica mundial são os ciclos de rentabilidade, flutuações que ocorrem sistematicamente ao longo do tempo, podendo variar em termos de período de

duração e intensidade. De acordo com Kupfer (2004), as características inerentes à indústria petroquímica que determinam a sua ciclicidade são:

- Volatilidade dos preços do petróleo e derivados e da paridade das taxas de câmbio;
- Flutuação das taxas de crescimento da demanda mundial (alta elasticidade-renda do plástico);
- Descontinuidades do ajustamento entre oferta e demanda de longo-prazo.

A figura 1 a seguir mostra um esquema da lógica de um ciclo de rentabilidade na indústria petroquímica. Segundo o citado autor, os ciclos de ajustamento de capacidade produtiva implicam na eliminação de capacidade, mas raramente na eliminação de empresas. “As empresas são levadas ao reforço das fontes de competitividade baseadas em escala e integração, visando o melhor posicionamento durante a retomada, e o reposicionamento estratégico do portfólio de produtos, via diversificação fora da petroquímica” (KUPFER, 2004).



Figura 1: A lógica de um ciclo de rentabilidade na indústria petroquímica mundial
Fonte: David Kupfer, 2004.

Desta forma, o aprendizado da indústria com relação ao impacto dos ciclos em seus negócios tem como consequência mudanças estruturais significativas, como as que vêm ocorrendo nos últimos anos, podendo-se citar a integração, consolidação e internacionalização da indústria e diversificação de produtos (HUNTSMAN, 2006). Estes movimentos acabam por afetar a dinâmica do negócio, mudando constantemente o traçado dos ciclos. Estas transformações influenciam diretamente a expectativa de rentabilidade dos negócios. Sendo assim, acompanhar as tendências estruturais e de mercado, é tão importante quanto a definição do cenário macroeconômico para a previsão de margens e preços no longo prazo.

3.2 TRANSFORMAÇÕES ESTRUTURAIS DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA INTERNACIONAL

Um dos fatores importantes que influenciam o negócio petroquímico e que vem sofrendo fortes transformações é o preço do petróleo. Desde a intervenção dos Estados Unidos no Iraque, ocorrida em 2004, a cotação do petróleo tipo Brent³ ultrapassou os US\$ 40 por barril e não baixou mais deste patamar. De acordo com Borges (2004), a escalada, chegando a níveis superiores a US\$ 70 por barril, com constantes flutuações, vem gerando incertezas na economia mundial nesses últimos dois anos. Preços excessivamente altos do petróleo limitam a competitividade de determinadas indústrias, redirecionam investimentos e colaboram com a inflação. Fatores sazonais e cíclicos, como o rigor do inverno no hemisfério norte, contribuem por sua vez a um aumento na volatilidade de preços.

No caso da indústria petroquímica, a elevação na cotação do petróleo coincidiu com o pico de rentabilidade do setor em todo o mundo, que teve início em

³ O petróleo Brent é referente à cotação *spot* do petróleo na Europa Ocidental.

2004. Sendo assim, apesar do alto custo de produção dos produtos oriundos do petróleo, as margens se mantiveram elevadas no período 2004 - 2005, propiciando uma excelente rentabilidade para o negócio. Entretanto, vale salientar que o cenário relativo aos preços do petróleo é nebuloso, devendo permanecer acima dos US\$ 50 por barril nos próximos anos, conforme estimativas do EIA – Energy Information Administration⁴, realizada em dezembro de 2005. Neste caso, as margens da indústria petroquímica serão seriamente afetadas no ciclo de baixa previsto para 2009, segundo a consultoria americana CMAI (2006).

O preço do petróleo tem uma forte influência sobre a cotação da nafta petroquímica, apesar de não ser este o único fator determinante, já que a nafta é matéria-prima alternativa para uso no “pool” de gasolina nos Estados Unidos. A relação entre o preço da nafta ARA (Antuérpia - Rotterdam - Amsterdam) e o preço petróleo Brent historicamente se manteve próximo de 10 vezes, considerando-se o preço da nafta ARA em dólares por tonelada sobre o preço do petróleo Brent em dólares por barril.

Conforme pode ser visto no gráfico a seguir, recentemente, com a expressiva elevação da cotação do petróleo, esta relação de preços vem apresentando tendência de queda, se situando entre 8 e 9 vezes. Isto sugere que a mudança de patamar de preço não está sendo totalmente absorvida pelo preço da nafta, o que não descarta a predominância de aderência na relação de preços. O cenário de alta volatilidade no preço do petróleo continuará impactando o mercado petroquímico no médio-prazo (CMAI, 2006).

⁴ O Energy Information Administration – EIA é a entidade governamental americana responsável pelo monitoramento e disponibilização de informações relativas à energia nos Estados Unidos e no mundo.

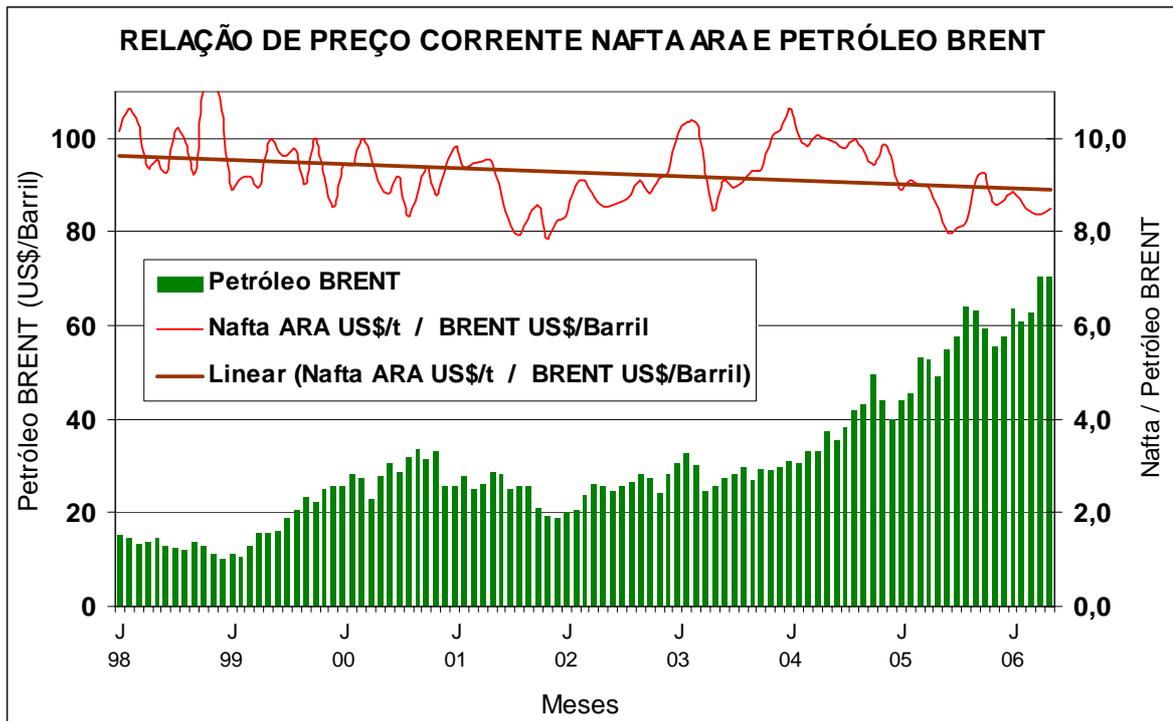


Gráfico 1: Relação de preços históricos de nafta ARA e o petróleo Brent
 Fonte: EIA – Energy Information Administration – US Government

As regras de oferta versus demanda não explicam por si só as altas cotações que o petróleo registra já há algum tempo. De acordo com Blanco (2004), além da economia de mercado, neste caso deve-se considerar também a interferência da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo). As fortes oscilações preocupam inclusive a quem se dedica à exploração e produção, e acabam por inibir novos investimentos no negócio. Além disso, a tendência de aumento nos preços de energia leva consumidores a buscarem abastecimento energético em outras fontes, potencializando uma redução da demanda por petróleo no longo-prazo.

De acordo com o CMAI (2006), com um cenário de longo-prazo para os preços de matérias-primas acima do histórico, a diferença de competitividade das regiões será fator decisivo para os novos investimentos da indústria petroquímica. Com um baixo custo de matéria-prima, o Oriente Médio terá forte incremento de capacidade instalada no período de 2006 a 2009, principalmente em poliolefinas. A maioria dos projetos anunciados está enfrentando dificuldades na sua execução, devido ao redirecionamento dos investimentos para exploração de petróleo com

maior perspectiva de retorno. Sendo assim, a capacidade limitada de matéria-prima deve continuar afetando a indústria petroquímica no curto-prazo – cenário para 2006-2007.

A tendência de longo-prazo é de direcionamento da superoferta para outras regiões, suprindo novas demandas, como a da Índia. A nova oferta se consolidará no ciclo de baixa, reduzindo ainda mais as margens da indústria mundial neste período. O gráfico 2 apresenta o ciclo de rentabilidade da indústria petroquímica nos Estados Unidos, histórico, e projetado, até 2010. O cenário internacional é o mesmo, tendo em vista a globalização do mercado.



Gráfico 2: Ciclo de rentabilidade da indústria petroquímica nos Estados Unidos
Fonte: CMAI, 2003.

A vantagem competitiva do Oriente Médio será maior quanto maior for o preço das matérias-primas, tendo em vista que outras regiões, como os Estados Unidos, por exemplo, dependem de matéria-prima cara, no caso o gás natural. Isto deverá alterar o comércio internacional. Os Estados Unidos tenderão a aumentar cada vez mais as suas importações. O Oriente Médio será o maior exportador, em especial para atender a demanda na Ásia, enquanto que a Europa deve se manter com foco

nas trocas comerciais dentro da própria região. Estas mudanças interferem diretamente na relação de preços internacionais. O gráfico 3 mostra a capacidade adicional anunciada de polietilenos no mundo, onde se verifica que a região do Oriente Médio concentra a maior parte dos projetos.

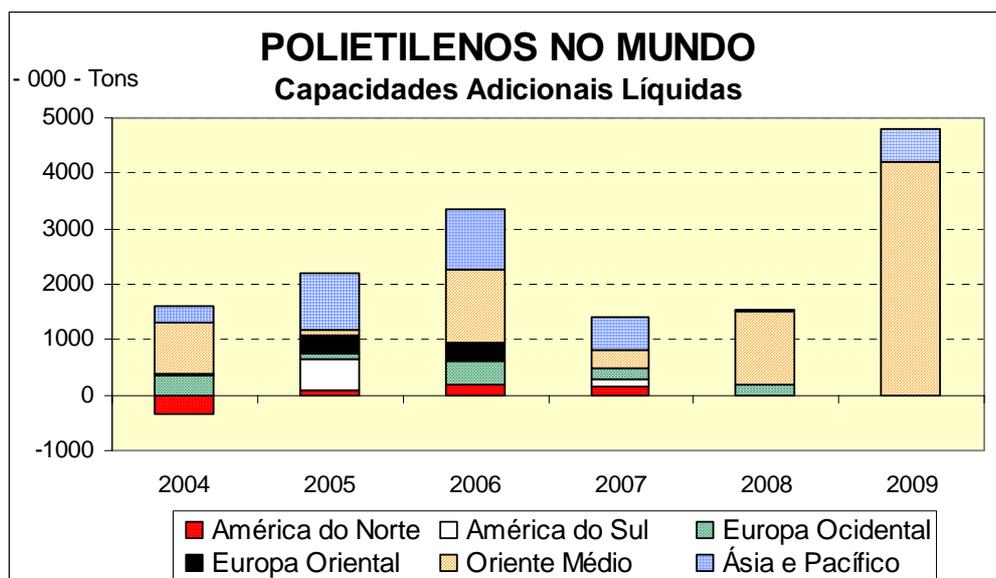


Gráfico 3: Capacidade adicional anunciada de polietilenos no mundo
Fonte: CMAI, 2003; adaptado por MaxiQuim Assessoria de Mercado

É importante ressaltar que mudanças estruturais, como a concentração do mercado com a redução do número de *players* devido a fusões e aquisições, o aumento tanto no fluxo de capitais quanto na escala de produção, e a crescente integração da economia global, intensificam cada vez mais as trocas comerciais mundiais (CMAI, 2006). Isto leva a aproximação os preços praticados entre as regiões, muito embora as trocas comerciais em alguns casos ainda sejam mais intensas entre regiões próximas, como ocorre entre o Brasil e Argentina, e o México e Estados Unidos.

O grau de internacionalização de uma região depende principalmente da proximidade com os grandes mercados e países exportadores. Na América Latina, por exemplo, o México é o país que tem o maior grau de abertura, devido à sua proximidade com a costa do golfo. Isto faz com que os preços praticados no mercado mexicano sejam baixos, comparativamente a outros países da região.

No entanto, além da localização, outros aspectos interferem na determinação dos preços: o tamanho do mercado, a capacidade instalada, a taxa cambial, tarifas de proteção, entre outros. Ainda no caso do México, o tamanho do mercado e a oferta insuficiente de petroquímicos favorecem as importações em grandes volumes e com preços competitivos.

Sendo assim, mesmo com a globalização do mercado, vários fatores internos também influenciam na formação de preços regionais, muito embora as tendências estruturais e o ciclo econômico mundial afetem o negócio petroquímico de forma global. No próximo capítulo serão analisados os aspectos intrínsecos da indústria petroquímica brasileira e sua relação com o mercado internacional.

4 CONFIGURAÇÃO DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA E DO SETOR DE PLÁSTICO NO BRASIL

Do ponto de vista estrutural, a indústria petroquímica brasileira se assemelha à indústria petroquímica mundial, possuindo, no entanto, particularidades de mercado que devem ser observadas para o perfeito entendimento da lógica de formação de preços neste segmento. No que se refere ao mercado brasileiro, este capítulo apresenta inicialmente os principais aspectos relativos à recente reestruturação ocorrida no setor, que o tornou competitivo no mercado internacional. Em seguida é feita uma análise do mercado de resinas termoplásticas, sob a ótica de relação entre produtores e consumidores, a indústria de transformação de plásticos.

4.1 CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DA PETROQUÍMICA BRASILEIRA

A indústria petroquímica brasileira foi essencialmente estruturada tendo a nafta como matéria-prima. Somente no final de 2005 entrou em operação a primeira unidade no Brasil cuja produção de eteno é baseada no uso do gás natural, a Rio Polímeros, no Rio de Janeiro. Outro projeto semelhante é o de ampliação de capacidade produtiva da Petroquímica União – PQU, em São Paulo, com início de operação previsto para 2008.

As centrais de matéria-prima que atualmente utilizam nafta para craqueamento são a Braskem, na Bahia, a PQU, em São Paulo e a Companhia Petroquímica do Sul - Copesul, no Rio Grande do Sul. Estas empresas têm como principal matéria-prima a nafta oriunda da Petrobras ou importada. Produzem eteno

(produto principal), propeno, e aromáticos, como benzeno, tolueno, xilenos, e gasolina. Já a Rio Polímeros consome o gás natural e produz etano e propano, que são matérias-primas para o eteno e propeno, sendo que a maior parte produzida é eteno. A grande diferença é que neste caso não são produzidos os aromáticos, gasolina, etc.

A cadeia petroquímica é dividida em empresas de 1ª, 2ª e 3ª gerações. Esta classificação é empregada no Brasil para facilitar o entendimento das relações e diferenças entre empresas de um mesmo setor, que destinam seus produtos para um mesmo mercado final, o de produtos plásticos transformados. As empresas de 1º geração são as centrais petroquímicas já citadas, que produzem a matéria-prima para as empresas de 2º geração. Estas produzem, entre outros produtos, as resinas termoplásticas, que são a principal matéria-prima das empresas de 3º geração, também chamadas de indústria de transformação de plástico. Estas empresas não são classificadas como indústria de petroquímica, mas estão inseridas na mesma cadeia produtiva. A figura 2 apresenta um esquema que ilustra a relação entre os elos da cadeia petroquímica no Brasil.

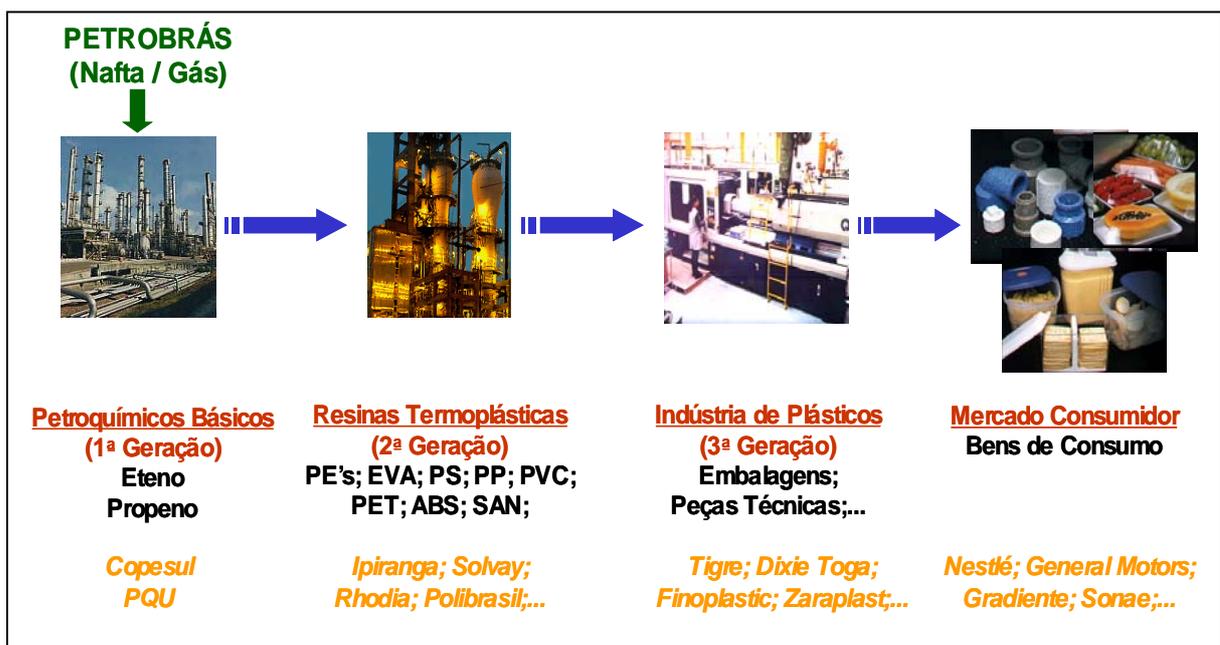


Figura 2: A Cadeia produtiva da indústria petroquímica brasileira, da matéria-prima até o mercado consumidor.

Fonte: MaxiQuim Assessoria de Mercado, 2005.

Com relação à matéria-prima, o Brasil possui um déficit estrutural de nafta para a indústria petroquímica. No entanto, as centrais petroquímicas importam nafta não só por questões de falta de disponibilidade no mercado interno, mas também por oportunidade de negócio (preço e qualidade), tendo em vista que a nafta brasileira tem tipicamente uma baixa parafinicidade (rendimento muito baixo em eteno), não sendo com isso a melhor opção para processamento. Sendo assim, a petroquímica brasileira insere-se no contexto internacional desde a matéria-prima, no caso a nafta, cujas importações representaram cerca de 43% do volume consumido no Brasil em 2005 (MAXIQUIM, 2006).

Outro aspecto a ser ressaltado é a integração produtiva, uma das principais características de padrão competitivo da indústria petroquímica. No Brasil, o processo de integração entre empresas de 1ª e 2ª gerações, teve início no pólo da Bahia. A partir da reestruturação da Braskem, que se originou da compra da Copene em 2003, antiga central petroquímica da região, houve a integração da produção de insumos básicos com os seus derivados, entre eles as resinas termoplásticas. No Pólo Petroquímico do Sul, a integração é parcial, já que a Copesul, tem como acionistas majoritários a Braskem e Ipiranga, que são os principais produtores de resinas na região. A Rio Polímeros, diferente das demais, já nasceu totalmente integrada até a produção dos polietilenos, enquanto que a PQU ainda não passou por um processo semelhante.

Muito embora o processo de integração básico-polímero esteja de uma forma geral, em fase adiantada no Brasil, os demais elos da cadeia estão totalmente dissociados. A integração *upstream*, ou seja, com o refino de petróleo, é uma das últimas tendências no mercado mundial. No Brasil, apesar da intenção da Petrobras de participar mais efetivamente do negócio petroquímico, não existe ainda um modelo de negócio baseado na integração refino – petroquímica.

Do ponto de vista de integração *downstream*, isto é, entre a indústria petroquímica e de transformação de plástico, as diferenças estruturais ainda representam um grande entrave para a sua integração. O negócio de transformação de plástico no Brasil é caracterizado pela baixa escala de produção, defasagem tecnológica, utilização intensa de mão-de-obra e pelo baixo grau de internacionalização. Segundo Kupfer (2004), a indústria de transformação de

plásticos no Brasil modernizou-se apenas parcialmente, mas ao mesmo tempo aprofundou a heterogeneidade competitiva. “A baixa capacitação tecnológica e difícil acesso ao financiamento são as principais restrições à competitividade da cadeia, em especial para as pequenas empresas” (KUPFER, p. 25, 2004). Por outro lado, a indústria petroquímica é intensiva em capital, tem alta escala de produção, uma tecnologia avançada e um alto grau de internacionalização.

No Brasil, enquanto a indústria petroquímica vem passando por um processo de concentração crescente, através de fusões e aquisições, a indústria de transformação de plásticos apresenta tendência de desconcentração. Estas diferenças estruturais dificultam a integração da indústria petroquímica com a de 3ª geração, diferente do que ocorre no mercado internacional, onde existem diversos casos de integração de ativos entre polímero – plástico transformado. Desta forma, a integração produtiva na indústria petroquímica brasileira ainda é incompatível com a requerida na competição internacional.

4.2 ANÁLISE DO MERCADO DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS

Os produtos petroquímicos chamados resinas termoplásticas são constituídos do PEBD (polietileno de baixa densidade), PEBDL (polietileno de baixa densidade linear), PEAD (polietileno de alta densidade), PP (polipropileno), PS (poliestireno), PVC (policloreto de vinila) e PET (polietileno tereftalato). São sete resinas, todas com produção nacional, porém com características diferenciadas no que diz respeito às suas matérias-primas, processo, tecnologia e auto-suficiência.

Os polietilenos tem como principal matéria-prima o eteno, sendo produzidos em processos diferentes conforme a densidade (baixa, média e alta densidade). O PEAD pode ser produzido em processo convencional ou *swing*, sendo que neste último é obtido em planta multipropósito com o PEBDL, enquanto que o PEBDL é

produzido apenas através do processo *swing*. Esta condição de sinergia na produção de PEBDL e PEAD impacta em fatores relativos a oferta destes produtos, como capacidade instalada e nível operacional (ocupação da capacidade instalada).

O PP tem como matéria-prima o propeno grau polímero, que no Brasil é produzido principalmente pelas centrais petroquímicas como co-produto do eteno, através do craqueamento de nafta, mas também é fornecido pelas refinarias. No caso do PS, a matéria-prima é o estireno, derivado do etilbenzeno, que por sua vez deriva do benzeno, co-produto do eteno. Já o PVC tem como matéria-prima o MVC (monocloreto de vinila), que é produzido a partir do DCE (dicloroetano) e eteno. Por fim, o PET é produzido com base no PTA (ácido tereftálico purificado). Como pode ser visto, as resinas termoplásticas diferem nos seus processos e matérias-primas, mas tem em comum algumas propriedades que conferem atributos de produto semelhantes, e com isso competem muitas vezes nos mesmos mercados.

No Brasil, a condição de oferta versus demanda de cada uma das resinas é distinta. Para o PEBD existe um baixo grau de ociosidade em relação à capacidade instalada, tendo em vista se tratar de um mercado maduro, e a demanda doméstica estar próxima da capacidade instalada atual. Por outro lado, no caso do PEAD e o PEBDL, que são produzidos muitas vezes na mesma planta, a demanda doméstica é inferior à capacidade instalada, o que faz com que o país atualmente exporte grandes volumes. Outro caso particular é o do PS, que tem também um mercado maduro, com alto nível de ociosidade na produção, devido à alta capacidade instalada, muito superior à demanda doméstica, e baixa competitividade para exportação. A análise das condições de oferta e demanda de cada produto é relevante para o entendimento do comportamento dos preços. São alguns dos fatores internos relativos ao mercado brasileiro que interferem diretamente na formação de preço, refletindo em uma maior ou menor predisposição dos produtores em acompanhar os preços internacionais.

5 FORMAÇÃO DE PREÇOS NA CADEIA INSUMO-PRODUTO DA PETROQUÍMICA BRASILEIRA

Os critérios de precificação adotados pela indústria petroquímica brasileira foram analisados neste capítulo, com o intuito de buscar o entendimento a respeito dos parâmetros utilizados nas fórmulas estabelecidas e as referências de preços em que se baseiam as negociações. Com base nesta análise são feitas algumas correlações de preços históricos de petroquímicos no Brasil, entre matérias-primas e produtos, vis a vis as referências de preços internacionais.

5.1 MODELO DE FORMAÇÃO DE PREÇOS DA CADEIA PETROQUÍMICA

A indústria petroquímica tem a matéria-prima como ponto crucial para a competitividade do negócio, tendo em vista o alto valor que representa no custo de produção. Conforme foi mencionado anteriormente, a nafta é a principal matéria-prima petroquímica utilizada no Brasil, fornecida por um único produtor local, a Petrobrás. Neste caso, segundo análise feita por Lopes (2004), o produtor dispõe de poder de mercado para fixar preço, mas deve-se considerar que as centrais petroquímicas – consumidoras de nafta - têm alternativa de livre acesso às importações.

O preço da nafta no Brasil é estabelecido através de fórmula, cuja referência é o preço da nafta no mercado europeu, contrato ARA. A fórmula se baseia na cotação ARA em dólares do mês anterior, mais um valor fixo (prêmio), que serve para cobrir custos de logística, sendo que a conversão para reais é feita com base

na taxa cambial do mês anterior (QUIMAX REPORT, 2005). A fórmula, representada a seguir, é praticamente a mesma para todas as centrais que consomem a nafta petroquímica, com pequenas diferenças no valor do prêmio. Desta forma, o preço doméstico da nafta tem historicamente se equiparado ao preço do produto internado. Isto faz com que a alternativa de importação seja avaliada muito mais com base em fatores como logística e qualidade do que condições favoráveis de preço.

$$\text{PNAFBR}_n = (\text{PNAFARA}_{n-1} + \text{Prêmio}) * \text{Taxa cambial}_{n-1}$$

Onde:

n = período (mensal)

PNAFBR = preço da nafta no Brasil, em R\$/t

PNAFARA = preço da nafta ARA, em US\$/t

Prêmio = valor fixo negociado entre Petrobras e cada uma das centrais petroquímicas, em US\$/t

Taxa cambial = taxa de conversão de dólares americanos para reais.

O modelo de comparação com preços internacionais é utilizado no Brasil para a formação de preços de grande parte dos produtos intermediários na cadeia petroquímica, e as referências mais utilizadas são os preços de contrato americano e europeu. Neste modelo, em alguns casos são feitas adaptações do preço às condições do mercado local, o que pode ser feito, por exemplo, através de estabelecimento de prêmios, taxa de conforto e defasagem de tempo com o preço de referência.

A fórmula de preço para o eteno, principal derivado petroquímico da nafta, segue em alguns casos a referência direta de preços internacionais, e em outros casos se baseia no modelo de rateio de margens. Este modelo adotado se

estabelece através de uma relação comercial muito estreita entre o vendedor e o comprador, muitas vezes de sociedade, onde são detalhados os custos de produção envolvidos e preços de comercialização. As negociações envolvem grande complexidade na definição de critérios básicos como a valorização de subprodutos, investimentos à considerar, custos fixos desembolsáveis ou não que comporão a divisão, que itens serão reais e que itens serão referenciados a padrões internacionais, custos variáveis, etc (NUNES, p. 56, 1998).

Segundo Lopes (2004), o modelo é viável para empresas com grande escala de produção, tendo em vista serem utilizados como referências de margem as empresas *leaders* no mercado internacional. No caso do Brasil, os preços e custos de referência utilizados na fórmula são do mercado europeu. Sendo assim, o preço do eteno no Brasil é influenciado pelos preços internacionais, custo da matéria-prima e preços dos derivados, no caso os polietilenos, que por sua vez são estabelecidos pelas leis de mercado.

As resinas termoplásticas, derivadas do eteno e do propeno, têm seus preços definidos pelos produtores, de acordo com o mercado. Por serem bens “tradebles”, ou seja, facilmente negociados entre longas distancias, o produto nacional sofre competição com o produto importado. Desta forma, são parâmetros para estabelecimento de preços de resinas termoplásticas os preços internacionais, considerando-se os custos de internação, e a relação oferta versus demanda no mercado doméstico.

Com isso, é possível afirmar que os preços de produtos petroquímicos no Brasil acompanham, de uma forma geral, os ciclos de negócios internacionais de cada um dos segmentos da cadeia produtiva, apesar de refletirem as características regionais de mercado.

5.2 ANÁLISE DAS SÉRIES HISTÓRICAS DE PREÇOS

A viabilidade da construção do modelo de projeção de preços depende da disponibilidade de dados históricos relevantes, confiáveis e de fácil atualização. Nos anexos são apresentadas algumas das séries históricas de preços a serem utilizadas para os testes de correlação, relativas às variáveis dependentes e independentes, com a indicação das fontes dos dados de cada uma.

O Anexo 1 relaciona os preços internacionais de alguns produtos como o petróleo Brent, petróleo WTI⁵, os polietilenos (PEAD, PEBDL e PEBD) e a cotação da nafta ARA, que é referência direta ou indireta para formação de preço de grande parte dos produtos petroquímicos no Brasil. Os dados são relativos ao período de março de 2002 a junho de 2006

As variáveis dependentes, no caso os preços nacionais dos produtos a serem projetados, são apresentados no Anexo 2. Foram utilizados nos testes de projeção os preços médios mensais de mercado do PEAD, PEBDL e PEBD, em dólares por tonelada, cuja evolução no período pode ser observada no gráfico 4 a seguir. Além dos polietilenos, foram feitos testes de projeção também para os preços da nafta e do eteno no Brasil, em que a base de dados são preços contrato em dólares por tonelada. A opção pelo uso da moeda americana para a análise dos preços nacionais se explica pela equalização com a moeda de referência dos preços internacionais, facilitando as correlações entre os preços no Brasil e no mundo.

As séries históricas de preços nacionais são disponibilizadas pelo QuiMax Report⁶, desde março de 2002, com periodicidade mensal, obtida através de pesquisa primária mensal feita pela MaxiQuim⁷. Anteriormente a esta data não era

⁵ WTI (West Texas Intermediate) é referente à cotação do petróleo nos Estados Unidos.

⁶ O QuiMax Report é uma publicação mensal desenvolvida em conjunto pelas empresas de consultoria MaxiQuim (Brasil) e Intellichem (Estados Unidos), que acompanha o mercado petroquímico e de plástico na América Latina. Na publicação são disponibilizados os preços de mercado mensais na Argentina, Brasil e México, obtidos através de pesquisa primária.

⁷ A MaxiQuim Assessoria de Mercado é uma consultoria brasileira especializada na análise de mercado no setor petroquímico no Brasil.

feita pesquisa de preços no Brasil, e por isso não se têm estes dados históricos para análise. As séries históricas contempladas neste trabalho vão até junho de 2006, período no qual os testes foram concluídos e os resultados analisados.

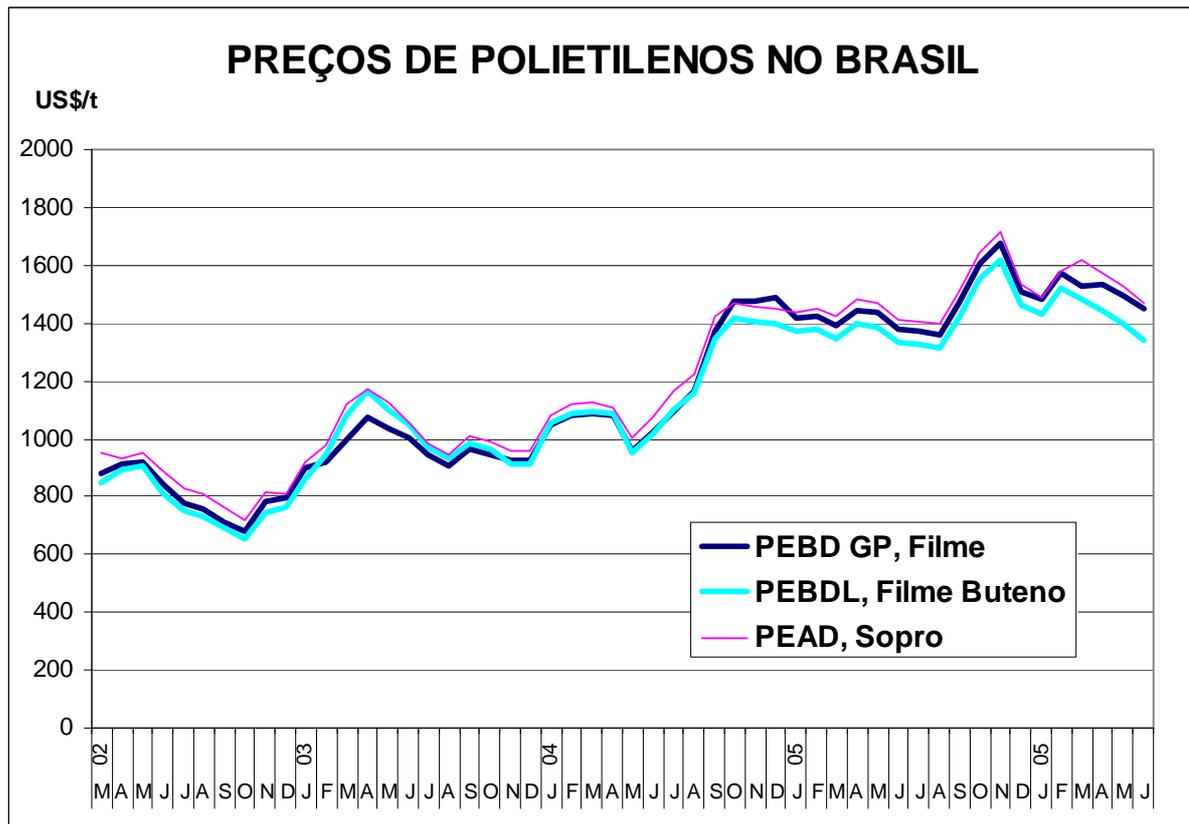


Gráfico 4: Evolução dos preços mensais dos polietilenos no Brasil, em dólares, no período de março de 2002 a junho de 2006
Fonte: QuiMax Report, julho de 2006.

Para um melhor entendimento do comportamento dos preços dos polietilenos no período de março de 2002 a junho de 2006, faz-se necessária uma avaliação do cenário econômico e dos principais fatos ocorridos que possam ter influenciado o comportamento destes preços. Neste sentido, destaca-se no Brasil alguns indicadores econômicos que estão mais diretamente relacionados com preços, no caso a taxa de inflação, a taxa de juros e a variação do câmbio.

O gráfico 5 mostra a variação mensal da inflação, medida pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), nos 12 meses acumulados, e a taxa de juros

nominal. Observam-se movimentos distintos na definição da taxa de juros por parte do Banco Central no período analisado, com forte correlação com as taxas de inflação. Houve uma elevação das taxas de juros em determinados momentos, com o intuito de minimizar os desvios da inflação em relação às metas, e a redução das mesmas em outras épocas, tendência que se manteve no final do período, aumentando o estímulo monetário para o consumo e o investimento nacional.

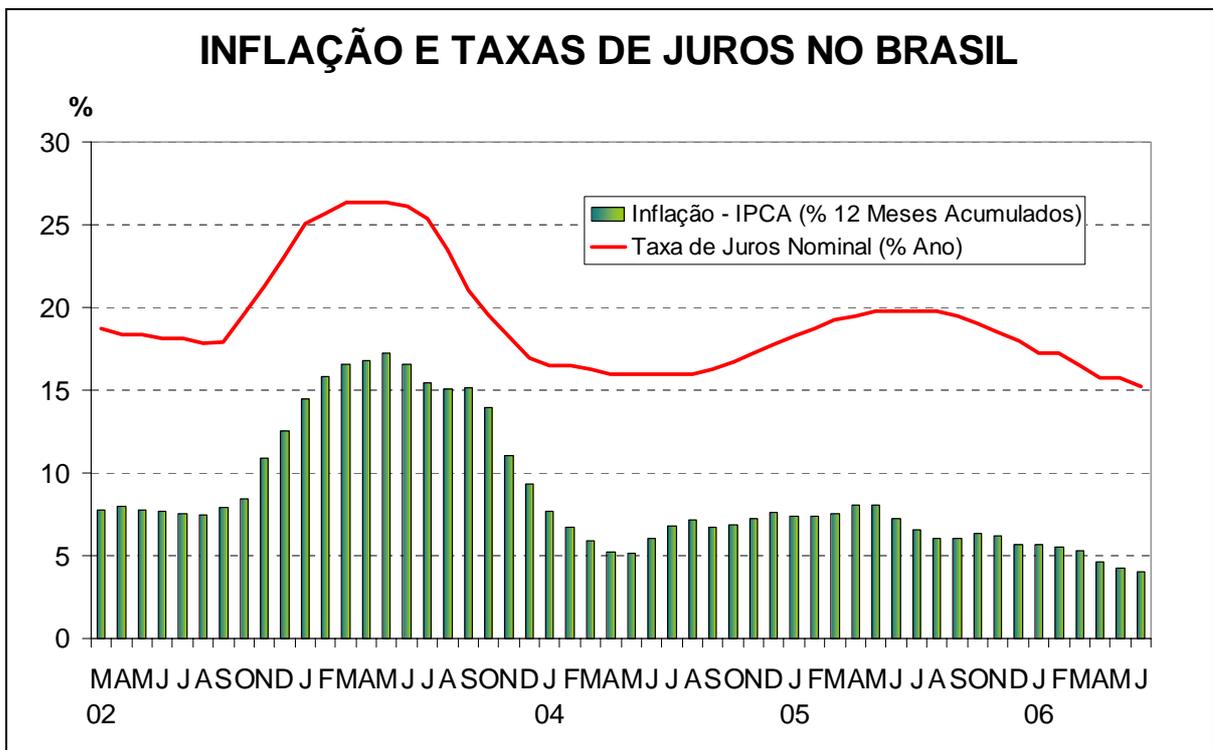


Gráfico 5: Evolução da inflação e da taxa de juros no Brasil no período de março de 2002 a junho de 2006

Fonte: Banco Central do Brasil (BACEN) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

A valorização cambial dos últimos anos também tem contribuído para a queda da inflação. A variação da moeda brasileira frente ao dólar apresentou fortes oscilações no período. Com uma taxa média no início do período de R\$/US\$ 2,35 (março de 2002), o real passou por forte desvalorização nos primeiros meses, e uma valorização gradual ao longo de quase todo o período restante, fechando a R\$/US\$ 2,25 em junho de 2006.

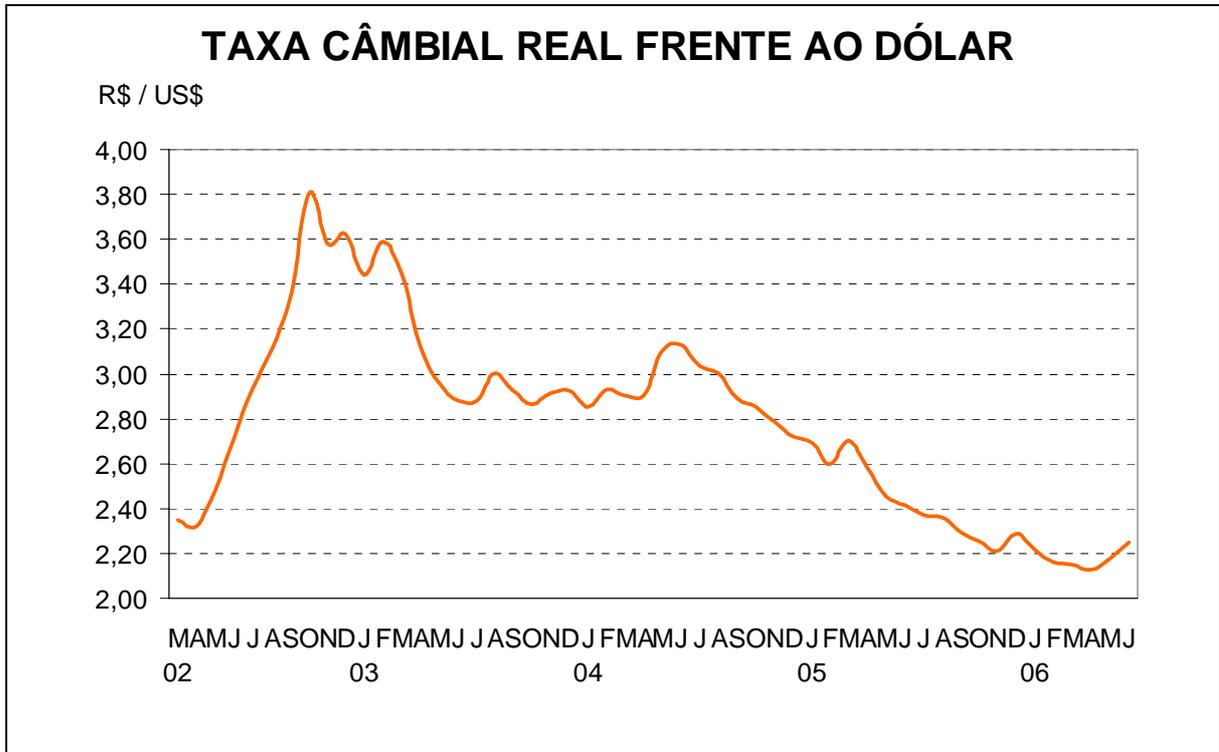


Gráfico 6: Evolução da taxa média mensal do real frente ao dólar americano no período de março de 2002 a junho de 2006
 Fonte: Banco Central do Brasil (BACEN)

Analisando-se o comportamento dos preços dos polietilenos frente aos indicadores econômicos citados, verifica-se uma baixa aderência destes produtos à taxa de inflação. Enquanto que o IPCA vinha de uma forma geral caindo no Brasil, os preços dos polietilenos seguiram subindo em dólares. Por outro lado, é possível supor que a valorização do real teve um efeito de incremento nos preços dos polietilenos em dólares no período, que se sobrepôs à tendência verificada por conta do efeito da alta no preço do petróleo no mesmo período.

Sabe-se que o preço do petróleo internacional teve destacada influência na escalada dos preços de petroquímicos no período em análise, tanto no mercado mundial quanto doméstico. Conforme já foi apresentada neste trabalho, a evolução do preço do barril do petróleo registrou trajetória ascendente, com maior intensidade na segunda metade do período. A forte pressão da cotação da matéria-prima, somada a fatores climáticos adversos, em especial em 2005, contribuíram para a elevação dos preços dos polietilenos e de suas matérias-primas no mercado

internacional, afetando diretamente as cotações brasileiras. Neste contexto, fica evidente a preponderância dos fatores externos sobre os eventos internos relativos ao cenário econômico em quase todo o período analisado e que porventura teriam afetado os preços domésticos.

Por fim, é importante destacar o evento ocorrido no início de 2006 no setor petroquímico brasileiro: o aumento expressivo da oferta de polietilenos. A entrada da Rio Polímeros no mercado, com uma capacidade instalada de 540 mil toneladas por ano de polietilenos, aumentou a competição entre os produtores locais, reduzindo os preços no Brasil, mesmo em período de alta no mercado internacional. Este efeito deve ser observado com cuidado na avaliação dos resultados dos testes de projeções a serem desenvolvidos ao longo do trabalho.

6 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

6.1 METODOLOGIA DE TRABALHO

O tema proposto neste capítulo é apresentar um modelo de referência que servirá como base para o desenvolvimento do modelo final de projeção para o curto-prazo dos preços de polietilenos no Brasil. Quando se fala em curto-prazo, está se referindo a um período que pode se situar entre seis meses e um ano, dependendo da viabilidade de se obter previsões confiáveis sobre o comportamento futuro dos preços.

Segundo Maçada e Becker (1999), em modelos quantitativos, atenção especial deve ser dada ao processo de validação do modelo de referência. “É interessante buscar na literatura, constructos já validados, reduzindo o ônus de um processo completo de validação”. No caso de projeções de preços de produtos petroquímicos, a consultoria americana CMAI desenvolveu um modelo que foi implementado para preços nos Estados Unidos, Europa Ocidental e Ásia, e que atualmente é largamente utilizado pelo setor. O modelo americano considera basicamente dois constructos, a saber:

- Drivers de Custos: variáveis relacionadas a custos, margens de contribuição e preços na cadeia produtiva;
- Drivers de Mercado: variáveis relacionadas ao balanço regional entre oferta e demanda, como capacidade instalada, produção, nível operacional e demanda doméstica, entre outras.

Para o caso do Brasil, a utilização destas mesmas variáveis será avaliada através de análise de correlações, para cada um destes constructos separadamente e entre os mesmos. A adaptação do modelo para o Brasil se faz necessária, tendo em vista a forte influência dos mercados americano e asiático, devido à intensa troca de produto com estes mercados, e o fato destas cotações serem referências na formulação de preços domésticos de diversos produtos.

A investigação conduzida busca avaliar o comportamento das séries de preços de polietilenos através do uso conjunto de métodos de previsão quantitativo e qualitativo. O modelo matemático tem como função projetar preços de forma quantitativa, baseado na identificação das variáveis cujos dados históricos requeridos são disponíveis, e que apresentem boa correlação com os preços a serem projetados.

O método qualitativo, por sua vez, tem por objetivo aprimorar os resultados das projeções quantitativas e se faz necessário quanto maior for a complexidade do mercado, assim como a diversidade de fatores que o influenciam. A identificação de fatores relevantes de difícil mensuração e reduzida disponibilidade de dados históricos, justifica a aplicação de um método qualitativo para qualquer previsão. Esta metodologia poderá vir a ser construída no presente trabalho, caso haja necessidade.

A concepção do modelo de referência construído para a previsão dos preços de petroquímicos no Brasil é apresentada de forma esquemática na figura 3 a seguir:

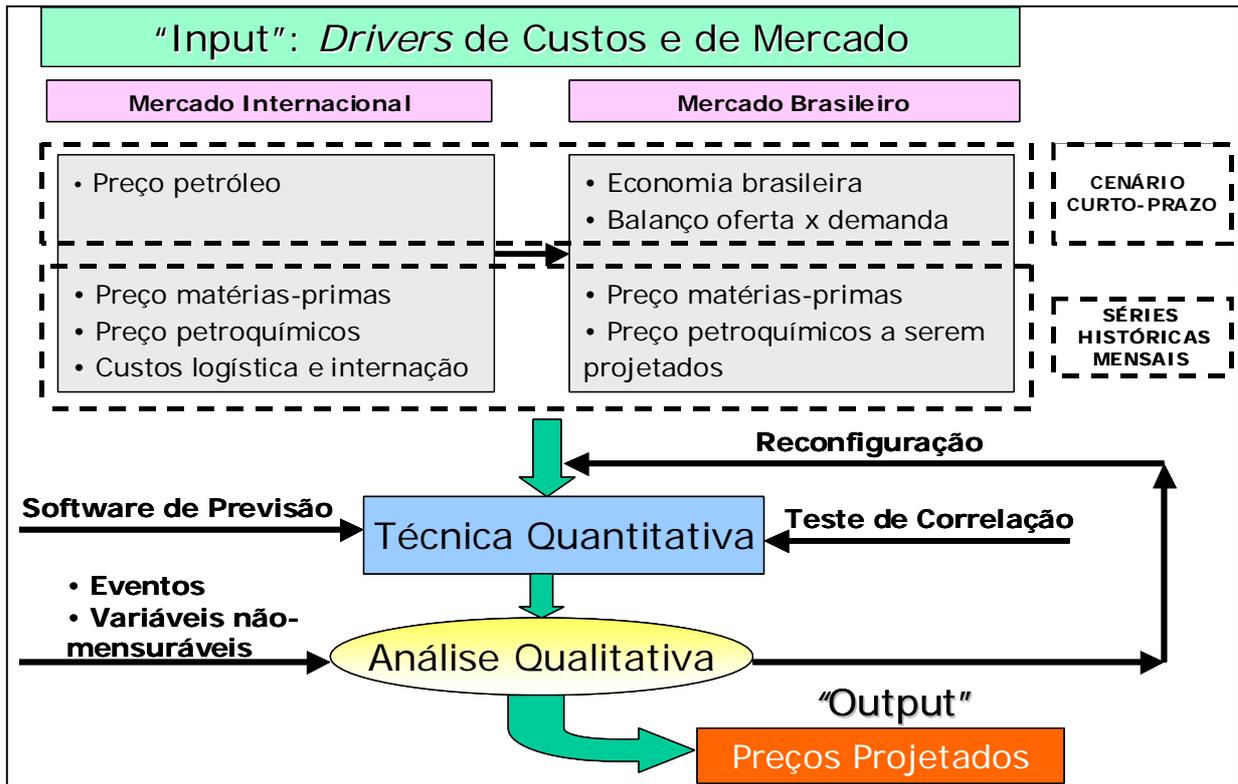


Figura 3: Desenho de pesquisa para a projeção de preços de petroquímicos no Brasil.

Para um melhor entendimento, são detalhadas abaixo as etapas que foram seguidas na criação do modelo de referência proposto:

- Seleção dos fatores relacionados com a cadeia produtiva petroquímica no mercado internacional e no mercado doméstico, que afetam o mecanismo de formação de preços de polietilenos no Brasil;
 - No mercado internacional o principal indicador já antevisto é o preço de petróleo, tendo em vista ser esta a principal matéria-prima petroquímica utilizada no Brasil. Outros indicadores deverão ser incluídos;
 - No mercado brasileiro os fatores que interferem na formação de preços são relacionados com os custos e as condições de mercado, em especial no que se refere ao balanço oferta versus demanda;

- Escolha de séries históricas relacionadas aos indicadores selecionados, desde que sejam confiáveis e disponíveis para o período desejado. A dificuldade na obtenção de uma determinada série histórica poderá ocasionar a necessidade de troca por outro indicador com função semelhante. As fontes de dados podem ser, por exemplo, a ABIQUIM, ou IBGE;
- Disponibilidade das séries históricas de preços dos produtos a serem projetados, oriundas de fonte confiável e permanente e na periodicidade desejada. A maior parte dos dados serão disponibilizados de fonte primária, oriundos do banco de dados da MaxiQuim;
- Escolha de um cenário macroeconômico e/ou de mercado, com base em indicadores futuros, que sejam relevantes para o modelo de previsão proposto. Um dos prováveis indicadores é o preço de petróleo internacional;
- Escolha de uma técnica quantitativa de previsão apropriada à projeção de preços dos produtos petroquímicos em foco, considerando-se os dados disponíveis, disponibilidade do software e os resultados esperados. O modelo de redes neurais foi avaliado para este fim, entre outros;
- Teste da técnica quantitativa escolhida, buscando a melhor correlação de preços, e avaliação dos resultados obtidos, confrontando-os com as séries históricas de preços em análise;
- Análise do comportamento do mercado de produtos petroquímicos no Brasil, e a partir de uma avaliação qualitativa, identificação de parâmetros de difícil mensuração que podem vir a interferir na definição de preços no curto-prazo;
- Inserção da análise qualitativa dos resultados das projeções, levando em consideração, se necessário, fatores de difícil mensuração, que possam indicar um viés para os preços projetados. Podem ser considerados, por exemplo, aspectos como entrada de uma nova planta, ou escassez de matérias-primas, entre outros.

- Revisão e correção do modelo matemático, a partir do aprendizado adquirido, criando novas parametrizações, com objetivo de otimizar e validar o referido modelo para fins de implementação do mesmo.

6.2 ESCOLHA DO MÉTODO DE PREVISÃO

Segundo Makridakis, *e tal.* (1983), a escolha do método de previsão depende de vários fatores, como a extensão do período, fatores determinantes do resultado efetivo, o tipo de modelo de dados, entre outros. O método de previsão quantitativa pode ser aplicado quando existir três condições:

- Disponibilidade de informações sobre o passado;
- Esta informação possa ser quantificada em forma de dados numéricos;
- Possibilidade de assumir que alguns aspectos relativos ao passado irão se manter no futuro;

No presente trabalho, as três condições estabelecidas pelos autores são verificadas, sugerindo em uma primeira análise a viabilização do uso de método quantitativo para as projeções de preços em questão. A razão da combinação de um método quantitativo com um qualitativo para atingir o resultado esperado, é o de entender melhor quais são os fatores envolvidos em cada situação e adaptar o método quantitativo a esta situação, com o intuito de aprimoramento do mesmo.

Sendo assim, foi avaliada a possibilidade de utilização conjunta de métodos de previsão quantitativo e qualitativo. Na análise de Makridakis, *et. al.* (1983), o

método qualitativo se baseia na informação e conhecimento do *expert*, que é o processador dos fatos. Desta forma, o método se aplica neste caso a partir da expertise da MaxiQuim, com vistas a aprimorar os resultados do método quantitativo.

O método quantitativo é dividido em dois tipos, o de série temporal e de regressão. No caso da série temporal o modelo é baseado na série histórica a ser projetada, enquanto que na regressão deve existir uma relação causa-efeito com uma ou mais variáveis independentes ou explicativas, onde a variável dependente é projetada. No modelo de regressão simples, uma variável independente (X) é utilizada para prever o valor da variável dependente (Y). É freqüente o uso da regressão múltipla, na qual um modelo mais apropriado para o caso pode ser desenvolvido, onde mais de uma variável independente é considerada (LEVINE, BERENSON, STEPHAN, 1999).

Por hipótese, a projeção de preços de polietilenos se enquadra no modelo de regressão múltipla, onde a variável dependente é o preço da resina a ser projetada, e as variáveis independentes são aquelas que influenciam a formação do preço. Entre as variáveis independentes podem ser citadas: preço de petróleo, preço internacional de resina, demanda doméstica e nível operacional - diferença entre a produção e a capacidade produtiva instalada. Neste caso a relação de variáveis poderia ser expressa por:

Preço polietileno = f (preço petróleo, preço resina internacional, demanda doméstica, nível operacional).

Podem ser analisadas também outras variáveis que não as citadas até o momento, a depender dos resultados obtidos e séries históricas disponíveis. Foram feitos testes preliminares no sentido de investigar qual o modelo matemático e as variáveis que melhor se adaptam aos diferentes comportamentos de preços de cada um dos polietilenos.

Na escolha do melhor modelo, foram considerados os resultados obtidos nos testes de correlação para cada um dos produtos a serem projetados, prevalecendo

aquele que apresenta resultados satisfatórios para todos os produtos em análise. Isto significa que o modelo matemático de previsão escolhido deve ser eficiente para todos os tipos de polietilenos, o que não quer dizer que não possa haver diferentes interferências qualitativas, em função basicamente de particularidades tecnológicas e de mercado, que influenciam de forma distinta no comportamento dos preços de cada produto.

Foi avaliado também o uso de Redes Neurais Artificiais (RNA). Segundo Haykin (2001), uma rede neural é uma máquina que é projetada para modelar a maneira como o cérebro realiza uma tarefa particular ou função de interesse. Ela se assemelha ao cérebro tendo em vista que o conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem.

Para um melhor entendimento da lógica da RNA, se faz necessário descrever o modelo de neurônios (artificiais) que forma a base das redes neurais. Na definição do autor, um neurônio é uma unidade de processamento de informação que é fundamental para a operação de uma rede neural. A figura a seguir mostra o modelo de um neurônio, aonde são identificados três elementos básicos:

1. Um conjunto de sinapses, cada uma caracterizada por um peso ou força própria. Um sinal x_j na entrada da sinapse j conectada ao neurônio k é multiplicado pelo peso sináptico w_{kj} .
2. Um somador para somar os sinais de entrada, ponderados pelas respectivas sinapses do neurônio;
3. Uma função de ativação para restringir a amplitude da saída do neurônio.

O modelo representado pela figura também contempla um *bias* aplicado externamente, representado por b_k . O *bias* tem a função de aumentar ou diminuir a entrada líquida da função de ativação, dependendo se ele é positivo ou negativo, respectivamente.

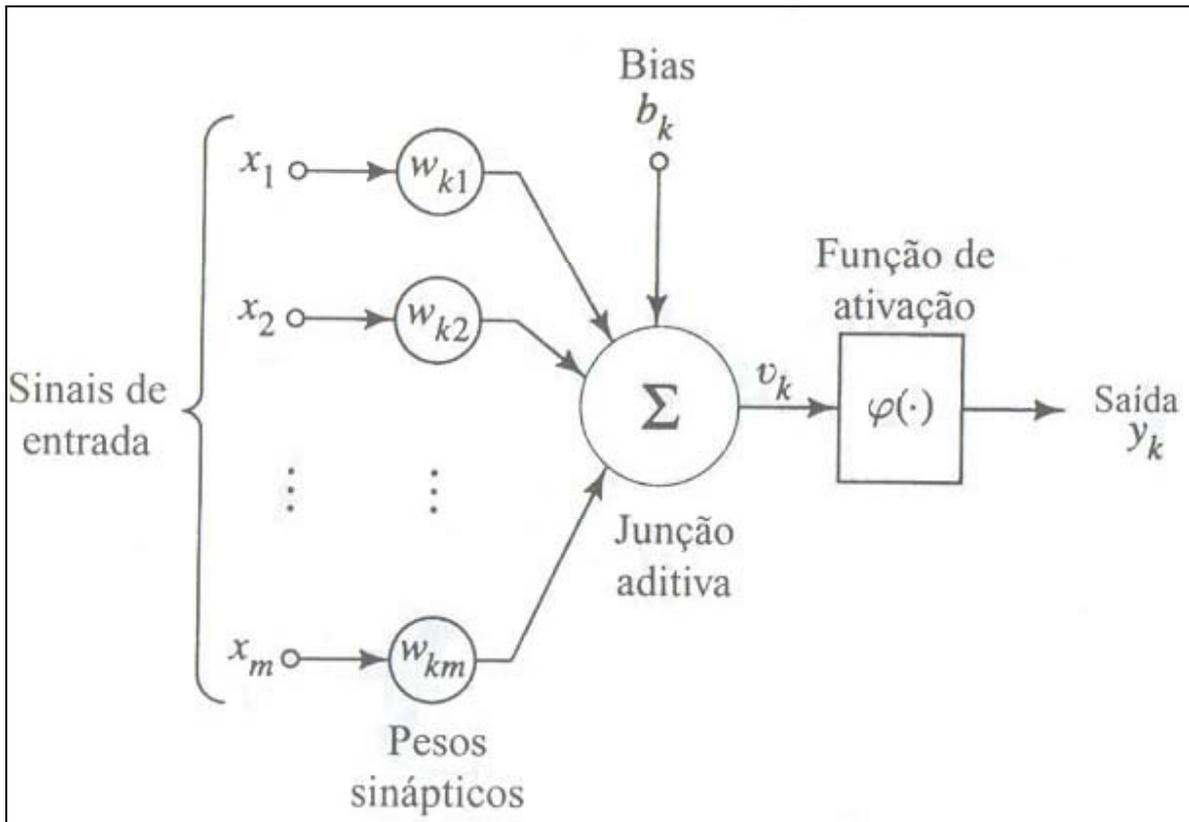


Figura 4: Modelo não-linear de um neurônio de uma rede neural (artificial).

Fonte: Haykin (2001)

Pela avaliação de Haykin, a ferramenta de rede neural tem muito a oferecer quando a solução de um problema de interesse é dificultada por algum dos seguintes pontos:

- Falta de entendimento físico/estatístico do problema
- Variações estatísticas nos dados observáveis
- Mecanismo não-linear responsável pela geração dos dados

Neste trabalho, a RNA foi utilizada como uma ferramenta de apoio e investigação, como alternativa ao método clássico caso este não apresente bons resultados, tendo em vista a possibilidade de haver variações estatísticas nos dados

históricos, dificultando o entendimento estatístico do problema. O outro interesse na aplicação da rede neural é a possibilidade de confrontar os resultados entre dois métodos quantitativos distintos, e escolher o de melhor desempenho.

Vale ressaltar que as ferramentas computacionais utilizadas neste trabalho estão disponíveis para o uso, sendo que não faz parte do escopo do trabalho o desenvolvimento de software para projeção. No caso das simulações com as RNA, foram realizados inicialmente experimentos com o Matlab⁸, pela sua disponibilidade, enquanto que para a execução da regressão múltipla optou-se pelo uso do Microsoft Excel, que tem como vantagem sua ampla disponibilidade e uso, permitindo um maior domínio e entendimento do problema.

⁸ Matlab é o software utilizado na execução do programa de Redes Neurais Artificiais (RNA) que está disponível na EA / Ufrgs.

7 MODELAGEM PROPOSTA PARA A PROJEÇÃO DE PREÇOS DE POLIETILENOS

A investigação conduzida neste capítulo busca analisar os fatores que influenciam o comportamento das séries mensais de preços dos polietilenos no Brasil, no intuito de desenvolver um modelo eficiente de projeção destes preços para o curto-prazo. Para tal, é apresentada inicialmente uma descrição das variáveis independentes, relativas aos preços dos produtos a serem projetados. A seguir são identificadas as variáveis dependentes, que representam os fatores que ajudam a explicar o comportamento dos preços dos polietilenos. Os testes de correlação para a escolha das variáveis são feitos através da aplicação do método de regressão múltipla. Finalmente são feitas simulações com Redes Neurais Artificiais (RNA), com o intuito de analisar comparativamente os dois métodos de previsão quantitativos, bem como buscar melhorias dos resultados apresentados com o primeiro método.

7.1 IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS

7.1.1 Variáveis Dependentes

De acordo com a sua densidade, os polietilenos podem ser classificados em três categorias: baixa, média e alta densidade, e são encontrados em ampla faixa de propriedades (PLANETA PLÁSTICO, 2001). Alguns são flexíveis, enquanto outros

são rígidos; alguns têm pequena resistência à impactos e outros são inquebráveis. Os polietilenos convencionais são o PEAD, o PEBD e o PEBDL, sendo que existe um quarto tipo de polietileno de elevado peso molecular (UHMWPE), dito de elevado desempenho. Cada um deles possui diversos tipos disponíveis no mercado, com propriedades distintas em função de suas diferentes aplicações e forma de processamento. Cada tipo tem sua própria série de preços, porém com comportamento muito semelhante dentro de um mesmo grupo de produtos.

Foi desenvolvido um modelo de projeção de preços a ser aplicado para os polietilenos como um todo, porém com equações próprias para cada produto, no caso o PEAD, PEBD e o PEBDL. A título de simplificação, foi selecionado um tipo de cada polietileno para a execução dos testes de correlação, que representasse da melhor forma possível o comportamento daquele produto. No caso do PEBD, o tipo grau filme convencional foi escolhido, por ser o mais utilizado no mercado – 67% do mercado brasileiro desta resina. Para o PEBDL, o grau filme buteno é o mais apropriado, também pela sua extensa aplicação, com 72% do mercado. Entre os tipos de PEAD, foi escolhido o grau sopra – 32% de participação no mercado, matéria-prima para diversas embalagens sopradas como bombonas, garrafas, e frascos. Desta forma, os modelos de projeções desenvolvidos para estes tipos poderão vir a ser replicados para os demais dentro de cada grupo de polietilenos.

7.1.2 Variáveis Independentes

Na cadeia produtiva dos polietilenos, dada a característica de baixa agregação de valor e de encadeamento de custos, o processo de formação de preços em um elo é fortemente influenciado pelo preço da matéria-prima praticado no elo anterior. No Brasil, predomina a rota a partir de craqueamento de nafta para

a produção de eteno, que por sua vez é a principal matéria-prima utilizada na produção dos polietilenos.

O preço da nafta petroquímica nacional é fixado pela Petrobras, com base na cotação da nafta ARA (Amsterdã, Roterdã e Antuérpia). Esta, por sua vez, tem relação muito próxima com o preço do petróleo, conforme análise feita no capítulo 5. Sendo assim, na investigação dos fatores relacionados com os custos, chamados *drivers* de custos, as variáveis de preços das matérias-primas petróleo, nafta e eteno serão extremamente importantes para explicar o comportamento dos preços dos polietilenos.

A figura 5 mostra o encadeamento de custos na cadeia produtiva dos polietilenos no Brasil, e permite que seja observada a relação direta com o eteno, cujo coeficiente técnico de conversão médio na produção de polietilenos é próximo de 1,0. O fato do preço da nafta brasileira estar diretamente vinculado à cotação internacional, permite o uso de apenas uma destas duas variáveis nos testes, já que a correlação entre ambas é evidente.

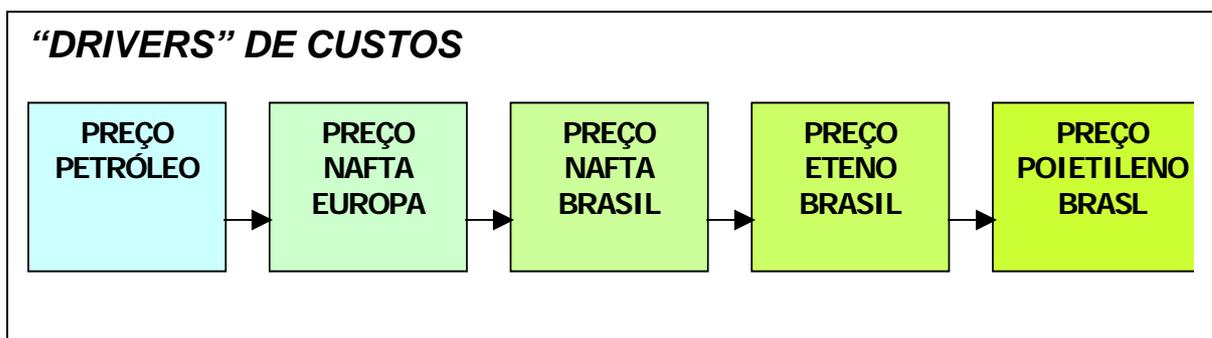


Figura 5: Relação de preços entre as matérias-primas na cadeia produtiva dos polietilenos

Desta forma, a partir da análise dos *drivers* de custos, foram identificadas as variáveis dependentes a serem utilizadas nos testes de correlação para a projeção de preços de polietilenos, quais sejam o preço do eteno no Brasil, o preço da nafta petroquímica no Brasil e o preço do petróleo WTI. O indicador de preço do petróleo escolhido se deve à disponibilidade de dados projetados bem como de histórico das

projeções destas cotações. Os preços mensais do petróleo WTI são acompanhados pelo EIA - Energy Information Administration.

As séries históricas de preços mensais no Brasil, tanto dos polietilenos quanto das suas matérias-primas, são disponíveis de março de 2002 até maio de 2006, através do banco de dados de preços mensais do QuiMax Report. São utilizadas as séries de preços em dólares, buscando com isso equiparar com a moeda dos preços internacionais.

Além dos *drivers* de custos, foram investigadas também variáveis relacionadas ao mercado que pudessem ajudar a demonstrar o comportamento dos preços dos polietilenos. A precificação destes produtos depende não só dos coeficientes técnicos, mas também dos direcionamentos do mercado. Os aumentos efetivos nos custos de produção desencadeados por conta da volatilidade do preço do petróleo, por exemplo, vão depender da maneira como o mercado internacional e o mercado doméstico de polietilenos reagem, podendo gerar um estreitamento nas margens na cadeia produtiva.

Ressalta-se que a elasticidade do preço à demanda é maior quanto mais o produto estiver à frente na cadeia produtiva da indústria petroquímica e do plástico. Os transformadores de plásticos, consumidores de polietilenos, podem não só importar as suas matérias-primas, como também substituí-las por outras no seu processo produtivo. Enquanto isso, os produtores de polietilenos são integrados na produção com os seus fornecedores de eteno, o que diminui a flexibilidade na obtenção da matéria-prima.

Desta forma, o estudo se limita a investigar somente aqueles fatores relacionados com o mercado (*drivers* de mercado) que possam afetar diretamente os preços dos polietilenos, e não de suas matérias-primas. Isto porque, no caso da nafta e do eteno, a influência do mercado internacional tende a ser mais significativa no efeito encadeado do preço do petróleo, que já está contemplado entre os *drivers* de custos.

Entre os *drivers* de mercado, relacionados com o mercado doméstico dos polietilenos, merece destaque o nível operacional dos produtores que caracteriza a

relação entre oferta e demanda. O nível operacional é calculado pela divisão entre a produção mensal e a capacidade instalada anual extrapolada para base mensal. Quanto maior a ociosidade frente à capacidade instalada, menor é o poder de barganha dos produtores na negociação de preços. O nível operacional, por outro lado, depende não só da demanda doméstica, mas também do mercado externo, ou seja, das oportunidades de exportação dos excedentes e das ameaças de importação que concorrem com as vendas internas dos produtores. Neste sentido, uma outra possibilidade a ser investigada é o consumo aparente⁹, tendo em vista representar o comportamento do mercado doméstico, sem deixar de contemplar as relações de comércio exterior.

Foram analisados também os indicadores de preços internacionais, que tendem a apresentar forte influência sobre os preços domésticos, tendo em vista as trocas intensas do Brasil com o mercado internacional no caso dos polietilenos. As cotações internacionais balizadoras na formação dos preços brasileiros são duas:

- Os preços praticados nos Estados Unidos, por serem freqüentemente utilizados como referência nas fórmulas de preços de matérias-primas;
- Os preços asiáticos, região de onde predominam as importações realizadas diretamente pelos transformadores brasileiros.

Desta forma, para analisar o mercado internacional foram utilizados os preços de contrato e *spot*¹⁰ dos polietilenos nos mercados americano e asiático, cuja fonte é o CMAI (www.cmaiglobal.com).

A figura 6 mostra os principais *drivers* de mercado e a forma como eles podem afetar os preços domésticos dos polietilenos. A complexidade se dá pela

⁹ Consumo Aparente = Produção + Importações - Exportações

¹⁰ Preços *spot* são aqueles comercializados livremente, sem um contrato de fornecimento entre vendedor e comprador.

forte inter-relação entre os mesmos, devendo ser levada em consideração a baixa previsibilidade destas variáveis, tendo em vista o efeito de aspectos não mensuráveis, como especulação, principalmente quando se trata de curto-prazo.

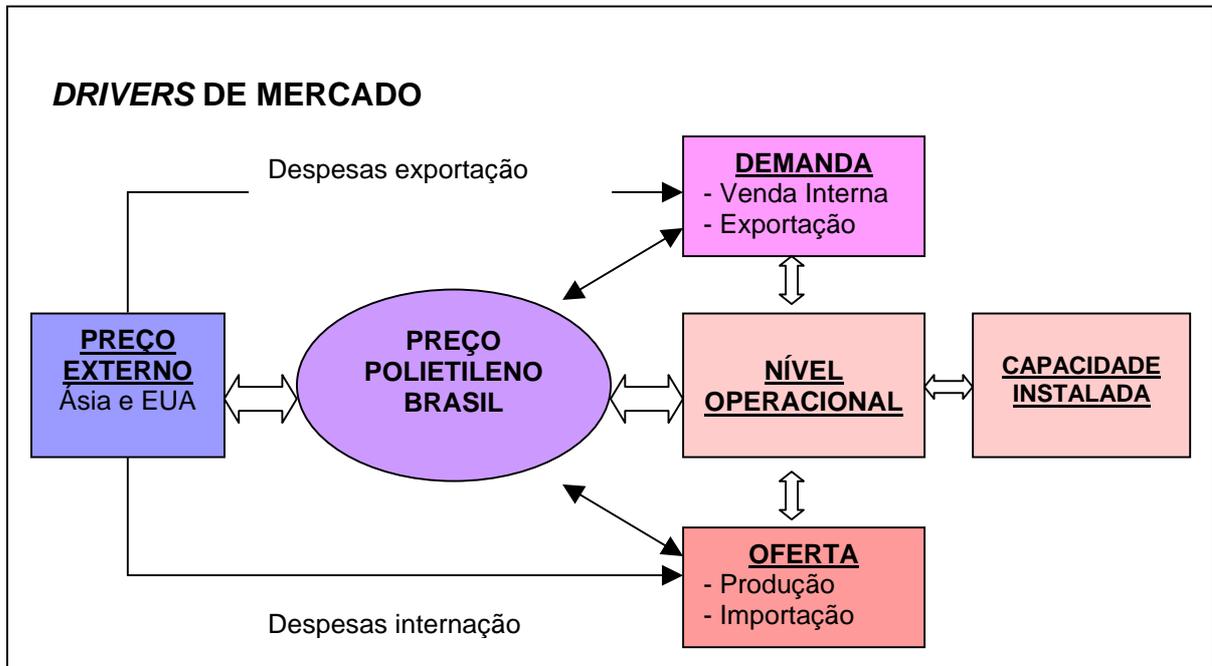


Figura 6: Relação entre os *drivers* de mercado que influenciam a formação dos preços dos polietilenos no Brasil

Foram selecionadas algumas destas variáveis para a investigação de correlações, de forma a reproduzir o efeito do mercado nos preços a serem projetados. As variáveis escolhidas relacionadas ao mercado brasileiro são o nível operacional e consumo aparente, já que traduzem de forma quantitativa a relação entre a oferta e a demanda de cada produto. As séries históricas mensais relativas ao nível operacional e ao consumo aparente para cada um dos polietilenos, são disponibilizadas para o período de março de 2002 a junho de 2006. Estas séries históricas são apresentadas no Anexo 3.

O período utilizado para estimação de parâmetros na análise de correlação contempla os dados de março de 2002 até dezembro de 2005, e o período de aferição vai de janeiro a junho de 2006.

7.2 RESULTADOS OBTIDOS

7.2.1 Testes com Regressão

Inicialmente foram feitos testes de correlação através da utilização da técnica de regressão múltipla, com o objetivo de melhor compreender as relações entre as variáveis previamente selecionadas. Foi escolhido entre os polietilenos, o PEAD *grau sopro*, para o qual foram feitas diversas análises de correlações entre as variáveis previamente escolhidas, com diferentes defasagens temporais entre as variáveis. O Quadro 1 apresenta a lista de variáveis utilizadas neste estudo para os testes relacionados ao PEAD.

Quadro 1 – Descrição das variáveis para os testes relacionados ao PEAD

SIGLA	DESCRIÇÃO
PPEADBR	Preço do PEAD grau sopro no Brasil (US\$/ton)
PETEN	Preço do eteno no Brasil em (US\$/ton)
PNAFBR	Preço da nafta no Brasil em (US\$/ton)
PWTI	Preço do petróleo WTI em (US\$/barril)
NOPEAD	Nível operacional do PEAD grau sopro no Brasil (%)
CAPEAD	Consumo aparente do PEAD no Brasil (ton)
PPEADUSAC	Preço do PEAD grau sopro contrato Estados Unidos (US\$/t)
PPEADUSAS	Preço do PEAD grau sopro spot Estados Unidos (US\$/t)
PPEADASIASU	Preço do PEAD grau sopro sudeste da Ásia (US\$/t)
PPEADASIANE	Preço do PEAD grau sopro nordeste da Ásia (US\$/t)

O primeiro teste executado avaliou na mesma simulação a correlação de todas as variáveis independentes relacionadas com a cadeia produtiva do PEAD, conforme apresentado a seguir:

$$\text{PPEAD} = f(\text{PWTI}; \text{PNAFBR}; \text{PETEN})$$

O resultado foi satisfatório ao nível de significância estatística de 5%. Tal resultado mostra que os preços das matérias-primas diretas e indiretas têm boa correlação com preço do PEAD no Brasil, porém os erros calculados não foram muito satisfatórios.

O teste realizado em seguida foi de correlação com as mesmas variáveis, porém com uma defasagem de um mês entre a variável independente e as variáveis dependentes. A defasagem no tempo foi testada devido à hipótese com relação ao tempo para que os preços das matérias-primas tenham efeito sobre o preço do PEAD, devido ao processo produtivo e de compra. No entanto, neste caso o resultado não mostrou grandes avanços sobre a primeira simulação. A relação entre as variáveis é representada da seguinte forma:

$$\text{PPEAD}_n = f(\text{PWTI}_{n-1}; \text{PNAFBR}_{n-1}; \text{PETEN}_{n-1})$$

Onde:

n = período (mensal)

A hipótese sobre a relação de preços com o mercado doméstico no curto-prazo foi testada através da análise das variáveis de nível operacional e consumo aparente. Aplicou-se a regressão múltipla com as variáveis de preços testadas anteriormente, no caso o preço do petróleo (com defasagem de 1 mês), preço da nafta, e o preço do eteno, incluindo o nível operacional e o consumo aparente de PEAD. Ambos os indicadores de mercado foram testados com uma defasagem de um mês, tendo em vista o tempo estimado para que a flutuação de preço tenha efeito no mercado. O resultado deste teste, representado pela fórmula a seguir, foi uma baixa significância das variáveis de mercado, sinalizando no sentido de não-rejeição da hipótese de nulidade dos coeficientes destas variáveis.

$$\text{PPEAD}_n = f(\text{PWTI}_{n-1}; \text{PNAFBR}_n; \text{PETEN}_n; \text{NOPEAD}_{n-1}; \text{CAPEAD}_{n-1})$$

Os testes preliminares, que relacionaram uma grande quantidade de variáveis ao mesmo tempo, ajudaram na percepção de que a influência dos fatores relacionados com os custos é mais forte do que aqueles relativos ao mercado doméstico. Tal resultado é interessante para os objetivos do presente trabalho pelos motivos a seguir:

- Não se descarta o efeito do mercado doméstico sobre os preços dos polietilenos no Brasil, no entanto este fenômeno tende a ser mais relevante em eventos específicos, como paradas de manutenção prolongadas e entrada de novos *players* no mercado;
- Pode-se inferir que a influencia dos aspectos relativos ao mercado doméstico nos preços no curto-prazo é de difícil mensuração, tendo em vista a vasta gama de fatores que podem interferir nos preços, e a falta de um indicador que represente o conjunto.

A partir desta constatação inicial, foi feita uma análise detalhada do efeito dos custos das matérias-primas sobre os preços dos polietilenos transmitidos ao longo da cadeia. Buscou-se descobrir as relações diretas entre as variáveis de preços na cadeia produtiva. O primeiro teste relacionou o preço do petróleo WTI com o preço da nafta brasileira. Foi considerada uma defasagem de um mês por conta da fórmula de preços praticada para a nafta no Brasil, baseada na cotação da nafta ARA do mês anterior.

O gráfico 7, apresentado a seguir, demonstra que os preços mensais do petróleo e da nafta seguem a mesma tendência, o que sugere uma forte influência do preço do petróleo no preço da nafta. Verifica-se também de uma forma geral uma defasagem na correlação entre os preços.

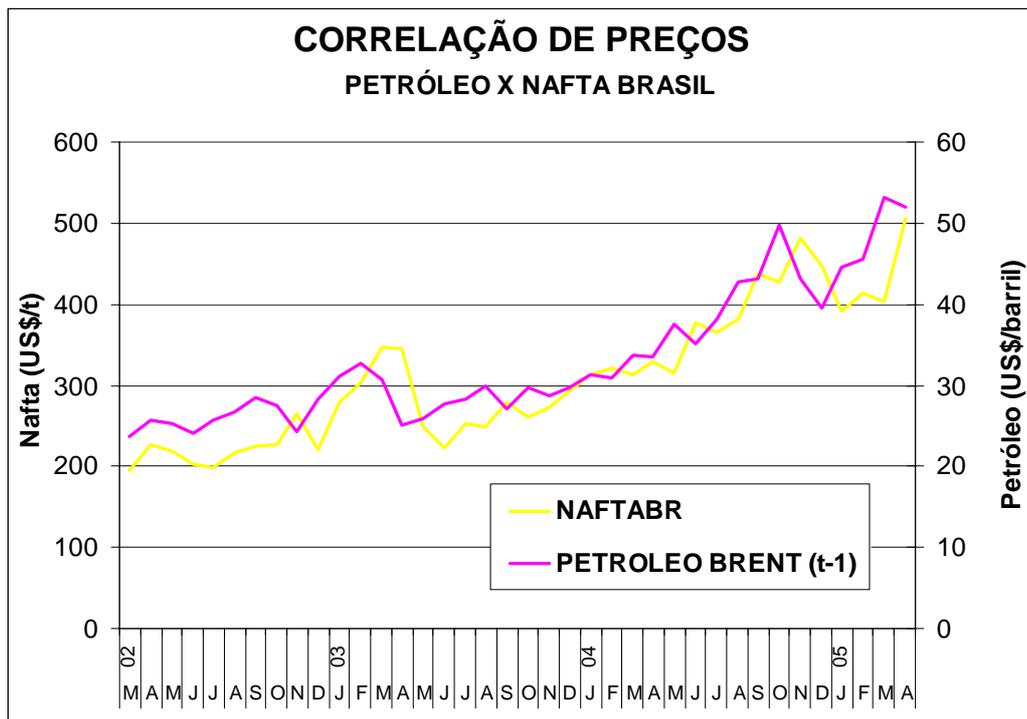


Gráfico 7: Análise da correlação de preços do petróleo Brent e da nafta no Brasil.
 Fonte: EIA – Energy Information Administration – US Government; QuiMax Report

O teste de correlação entre as variáveis de preço do petróleo e preço da nafta apresentou um resultado satisfatório. Apesar da volatilidade da cotação do petróleo, observada no período analisado, a forte correlação entre estas variáveis poderá vir a ser adotada como base inicial para as projeções dos preços do eteno e dos polietilenos respectivamente. A fórmula a seguir mostra a lógica da correlação proposta.

$$\text{PNAFBR}_n = f(\text{PPETR}_{n-1})$$

Da mesma forma, foi realizado um teste de correlação de preços entre a nafta e o eteno, sendo considerada também a defasagem de um mês, devido à fórmula praticada para o eteno. O gráfico 8 apresenta os preços mensais históricos da nafta e do eteno no Brasil, onde é verificado um comportamento similar entre séries de preços.

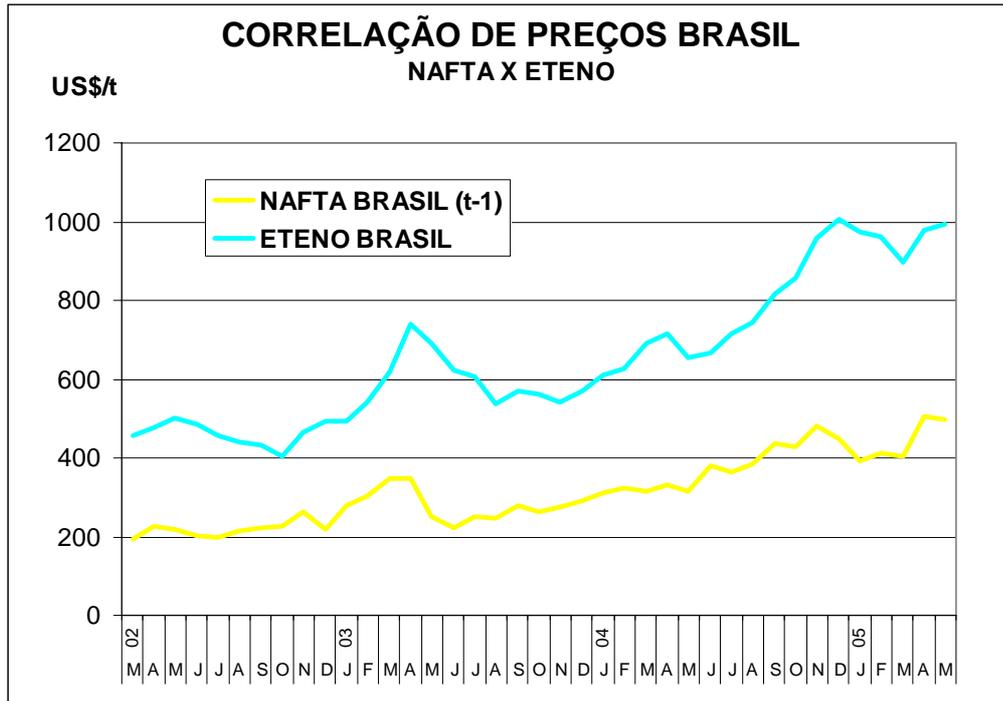


Gráfico 8: Análise da correlação de preços da nafta e do eteno no Brasil.
Fonte: QuiMax Report (www.quimaxlatin.com)

O coeficiente técnico de conversão de nafta em eteno é de aproximadamente 0,7, sendo que outros co-produtos representam 0,3. O comportamento de preços destes co-produtos interfere no preço do eteno, uma vez que entra como crédito na fórmula do eteno. No entanto é possível supor que a influência do preço da nafta seja muito maior, possibilitando desprezar os co-produtos.

Os resultados do teste mostram a forte influência da nafta na composição do preço do eteno. Os resíduos não destoam do padrão de normalidade e os parâmetros de erros são aceitáveis. A fórmula da correlação testada encontra-se abaixo:

$$\text{PETEN}_n = f(\text{PNAFBR}_{n-1})$$

As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados dos testes realizados com base no método de regressão múltipla para a nafta e o eteno respectivamente. São

detalhados para cada teste, o erro quadrático ajustado (R2), o número de observações, os coeficientes da equação e as variáveis independentes com os seus índices de significância (P).

Tabela 1

Resultados da análise de regressão múltipla para os testes de projeção de preços da nafta

Estatística de Regressão				
		Coeficientes		Valor-P
R2 Ajustado	0,9233	Interseção	21,23861	
Observações	46	Variável X1 (PWTI)	8,809773	1,07E-24

Tabela 2

Resultados da análise de regressão múltipla para os testes de projeção de preços do eteno

Estatística de Regressão				
		Coeficientes		Valor-P
R2 Ajustado	0,9143	Interseção	67,34877	
Observações	46	Variável X1 (PNAFTABR)	1,903133	1,05E-23

Finalmente, com os preços da nafta e do eteno no mercado brasileiro projetados, pode ser obtida da mesma forma uma previsão do preço dos polietilenos, objetivo final desta investigação. O gráfico 9 mostra as séries históricas dos preços mensais do eteno e do PEAD *grau sopra* no Brasil. Neste caso é verificada uma tendência de preços muito próxima, e aparentemente com menor defasagem no tempo do que nos casos anteriores.

A fórmula de preço do eteno, em alguns casos, leva em consideração além da nafta e os co-produtos, os próprios preços dos polietilenos praticados no mês

dos custos desde o petróleo, também se verifique uma influência direta das cotações internacionais do PEAD. Neste caso é razoável supor que a melhor correlação seja também com uma defasagem de um mês, tempo estimado na operação de importação da resina. Foram testadas individualmente todas as cotações internacionais do PEAD selecionadas previamente, conforme descrito anteriormente no Quadro 1. As fórmulas que representam os testes são as seguintes:

$$\text{PPEAD}_n = f(\text{PPEADUSAC}_{n-1})$$

$$\text{PPEAD}_n = f(\text{PPEADUSAS}_{n-1})$$

$$\text{PPEAD}_n = f(\text{PPEADASIASU}_{n-1})$$

$$\text{PPEAD}_n = f(\text{PPEADASIANE}_{n-1})$$

O melhor resultado foi obtido para os preços do PEAD no nordeste da Ásia, provavelmente em função das importações oriundas da China, muito embora todas as variáveis testadas tenham apresentado resultados aceitáveis, com rejeição da hipótese nula.

Por fim, foi realizado um teste relacionando as duas variáveis que se mostraram mais significativas, no caso o preço do eteno e o preço do PEAD no nordeste da Ásia, esta com defasagem de um mês. O resultado mostrou uma pequena melhoria do R-quadrado ajustado em relação à variável eteno, de 0,9518 para 0,9575. A significância do preço do PEAD na Ásia, no entanto, ficou muito próxima de 5%, no limite de aceitar a hipótese nula.

Desta forma, levando-se em consideração que a variável de preço do PEAD na Ásia não contribuiu de forma significativa para o modelo, além da indisponibilidade dos dados históricos projetados, propõe-se a não incorporação desta variável. A dificuldade com relação à disponibilidade de informações neste caso limitaria a avaliação no cálculo da degeneração dos erros com o tempo.

Por outro lado, a vantagem da utilização de um modelo de projeção dos preços dos polietilenos a partir de suas matérias-primas é a disponibilidade de preços históricos de petróleo projetados, obtidos junto ao EIA. O preço do petróleo WTI é projetado para 12 trimestres, revisado e disponibilizado através do relatório mensal Short Term Energy Outlook – STEO, que pode ser acessado em www.eia.doe.gov.

Tabela 3

Resultados da análise de regressão múltipla para os testes de projeção de preços do PEAD

Estatística de Regressão				
			Coeficientes	Valor-P
R2 Ajustado	0,9584	Interseção	273,0471	
Observações	46	Variável X1 (PWTI)	-0,19426	0,91456
		Variável X2 (PNAFTABR)	0,620207	0,01630
		Variável X3 (PETEN)	0,965757	4,57E-11
R2 Ajustado	0,9249	Interseção	295,5810	
Observações	45	Variável X1 (PWTI _{n-1})	5,35727	0,03663
		Variável X2 (PNAFBR _{n-1})	0,972513	0,00735
		Variável X3 (PETEN _{n-1})	0,46888	0,00344
R2 Ajustado	0,9661	Interseção	384,2150	
Observações	45	Variável X1 (PWTI _{n-1})	-3,55456	0,20346
		Variável X2 (PNAFBR)	1,124063	0,00189
		Variável X3 (PETEN)	0,937931	1,99E-11
		Variável X4 (NOPEAD _{n-1})	-0,00082	0,49061
		Variável X5 (CAPEAD _{n-1})	-117,7760	0,29198
R2 Ajustado	0,8677	Interseção	309,3374	
Observações	45	Variável X1 (PETEN _{n-1})	1,22084	7,91E-20
R2 Ajustado	0,9518	Interseção	279,3832	
Observações	45	Variável X1 (PETEN)	1,24528	7,87E-31
R2 Ajustado	0,7660	Interseção	51,11253	
Observações	45	Variável X1 (PPEADUSAC _{n-1})	21,24286	2,28E-15
R2 Ajustado	0,8926	Interseção	266,4796	
Observações	45	Variável X1 (PPEADUSAS _{n-1})	25,89372	1,15E-22
R2 Ajustado	0,8881	Interseção	222,3199	
Observações	45	Variável X1 (PPEADASIASU _{n-1})	1,17010	2,76E-22
R2 Ajustado	0,8987	Interseção	222,9321	
Observações	45	Variável X1 (PPEADASIANE _{n-1})	1,17112	1,13E-22
R2 Ajustado	0,9575	Interseção	235,9681	
Observações	45	Variável X1 (PETEN)	1,03898	3,27E-10
		Variável X2 (PPEADASIASU _{n-1})	0,23592	0,05748

A tabela 3 acima apresenta de forma sucinta os resultados de todos os testes realizados para o PEAD com base no método de regressão múltipla. São detalhados para cada teste, o erro quadrático ajustado (R2), o número de observações, os coeficientes da equação e as variáveis independentes com os seus respectivos índices de significância (P).

Em resumo, com base nos resultados apresentados até aqui, a análise comprovou uma forte influência das matérias-primas na cadeia produtiva do PEAD. Sendo assim, a partir do preço do petróleo WTI, pode-se obter o preço da nafta, que serve para projetar o preço do eteno. Este por sua vez é a variável que melhor se relaciona com o preço do PEAD. Considerando as relações de preços encontradas, o modelo simplificado para a projeção do preço do PEAD é a seguinte:

$$\text{PPEAD}_n = f(\text{PWTI}_{n-2})$$

Tendo sido identificadas as variáveis que melhor explicam o comportamento do preço do PEAD, e considerando-se a disponibilidade dos dados históricos projetados para o petróleo WTI, o passo seguinte é a análise da degeneração dos erros ao longo do período a ser projetado.

Com o objetivo de projetar os preços dos polietilenos mensalmente para um período mínimo de seis meses, foi necessário extrapolar os dados trimestrais do preço do petróleo projetado, já que estes não são disponíveis para o período mensal. A melhor forma encontrada foi considerar que os preços mensais são os mesmos preços trimestrais, para os meses do trimestre em questão. Com isso, foi gerada uma série histórica de preços projetados pelo EIA em forma de matriz. Para cada mês foram considerados os resultados das projeções mensais realizadas naquele período. Isto foi feito para todo o período de análise, ou seja, de março de 2002 a dezembro de 2005.

A matriz de preços de petróleo projetados a cada mês, que se encontra no Anexo 4, serve para avaliar a consistência destas estimativas, através de uma análise das diferenças entre projetado e realizado.

Quanto mais longo for o período projetado, menor tende a ser a qualidade das informações, de forma que o erro vai aumentando quanto mais se distancia no tempo. A análise proposta visa dimensionar a degeneração, através do cálculo dos erros em cada período, tendo como base na simulação dos resultados projetados também a cada intervalo de tempo, de $n+1$ até $n+6$.

Para toda a série projetada, foram calculados erros médios absolutos, erros médios relativos e desvios padrões residuais (DPR). Em seguida foram calculadas as médias destes indicadores de toda a série para cada período, onde os resultados mostram o grau de degeneração a cada intervalo para os produtos projetados. Isto foi feito inicialmente para os preços da nafta, do eteno e do PEAD sopro. Os resultados desta análise, apresentados nas tabelas 4, 5 e 6 a seguir, mostram que, apesar dos erros aumentarem ao longo do tempo conforme era previsto, os incrementos não são tão expressivos. De uma forma geral, para todos estes produtos, os erros são aceitáveis para um período de projeção de até seis meses, considerando-se os limites metodológicos inerentes às projeções.

Tabela 4

Erros calculados para a nafta com o uso da técnica de regressão múltipla

PREÇO DA NAFTA			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	25	7,31%	31,75
n+2	31	9,16%	37,28
n+3	39	11,48%	48,31
n+4	47	12,93%	56,24
n+5	49	13,67%	58,31
n+6	48	14,26%	55,39

Tabela 5

Erros calculados para o eteno com o uso da técnica de regressão múltipla

PREÇO DO ETENO			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	45	6,31%	58,31
n+2	64	8,96%	82,37
n+3	68	9,39%	81,46
n+4	73	10,13%	89,36
n+5	84	11,68%	103,48
n+6	90	12,70%	110,41

Tabela 6

Erros calculados para o PEAD com o uso da técnica de regressão múltipla

PREÇO DO PEAD GRAU SOPRO			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	65	5,73%	82,25
n+2	92	7,81%	112,43
n+3	96	8,12%	121,14
n+4	108	9,18%	134,40
n+5	123	10,34%	147,95
n+6	129	10,83%	151,39

Para os demais polietilenos, no caso o PEBD Grau Filme e o PEBDL Grau Filme Buteno, foram testadas as mesmas correlações de preços utilizadas anteriormente para o PEAD. As relações de preços testadas com o eteno são diretas, sem defasagem de tempo, conforme fórmulas a seguir:

$$\text{PPEBD} = f(\text{PETEN})$$

Onde:

PPEBD = Preço do PEBD no Brasil (US\$/t)

$$\text{PPEBDL} = f(\text{PETEN})$$

Onde:

PPEBDL = Preço do PEBDL no Brasil (US\$/t)

Como ambos os casos apresentaram resultados satisfatórios, não foram feitos novos testes com outras variáveis de mercado, ou defasagem no tempo como foi feito para o caso do PEAD. Isto porque o comportamento dos preços dos polietilenos tende a ser semelhante, já que todos estes produtos têm praticamente a mesma relação com a matéria-prima, no caso o eteno. Do ponto de vista do mercado, existe também uma forte correlação, devido ao uso em conjunto em uma mesma aplicação, pela substituição intermateriais, e pelo fato de serem muitas vezes produzidos pelas mesmas empresas.

Levando em consideração as correlações de preços entre as matérias-primas na cadeia produtiva, conforme apresentado anteriormente, as fórmulas finais de correlação de preços para o PEBD e o PEBDL, são respectivamente:

$$\text{PEBD}_n = f(\text{PWTI}_{n-2})$$

$$\text{PPEBDL}_n = f(\text{PWTI}_{n-2})$$

As tabelas 7 e 8 a seguir apresentam os resultados dos testes de regressão múltipla aplicados para o PEBD e o PEBDL respectivamente. Como pode ser visto, os erros quadráticos ajustados e o índice de significância em ambos os casos mostram que estas correlações poderão ser utilizadas nas projeções de preços destes produtos.

Tabela 7

Resultados da análise de regressão múltipla para os testes de projeção de preços do PEBD

Estatística de Regressão				
			Coeficientes	Valor-P
R2 Ajustado	0,9526	Interseção	209,3560	
Observações	46	Variável X1 (PETEN)	1,28799560	3,64 E-29
R2 Ajustado	0,968	Interseção	219,0518	
Observações	45	Variável X1 (PETEN)	1,12256	2,33 E-11
		Variável X2 (PPEBDASIASU _{n-1})	0,35467	0,0045

Tabela 8

Resultados da análise de regressão múltipla para os testes de projeção de preços do PEBDL

Estatística de Regressão				
			Coeficientes	Valor-P
R2 Ajustado	0,9480	Interseção	251,4618	
Observações	46	Variável X1 (PETEN)	1,20553	1,06 E-27
R2 Ajustado	0,9522	Interseção	232,2486	
Observações	45	Variável X1 (PETEN)	1,16774	3,13 E-15
		Variável X2 (PPEBDLASIASU _{n-1})	0,33204	0,0039

Assim como no caso do PEAD, para o PEBD e o PEBDL também foram feitos testes de degeneração através do cálculo dos erros em cada período, com base na simulação dos resultados projetados em cada intervalo de tempo, de $n+1$ até $n+6$. Foram calculados, os erros absolutos, erros relativos e DPR para as séries projetadas de preços do PEBD e do PEBDL. Em seguida foram calculadas as médias dos erros de toda a série para cada período, onde os resultados mostram o grau de degeneração a cada intervalo de tempo para cada produto projetado.

As tabelas 9 e 10 mostram os resultados desta análise, para o PEBD e o PEBDL, respectivamente. Assim como observado nas matérias-primas e no PEAD, nestes casos os aumentos de erros ao longo do tempo não foram tão significantes, ao menos até o sexto período de projeção.

Tabela 9

Erros calculados para o PEBD com o uso da técnica de regressão múltipla

PREÇO DO PEBD GRAU FILME			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	71	6,55%	87,09
n+2	95	8,33%	114,96
n+3	99	8,67%	124,21
n+4	111	9,63%	139,62
n+5	122	10,63%	154,60
n+6	129	11,22%	158,25

Tabela 10

Erros calculados para o PEBDL com o uso da técnica de regressão múltipla

PREÇO DO PEBDL GRAU FILME BUTENO			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	70	6,66%	84,86
n+2	93	8,45%	115,61
n+3	99	8,98%	123,76
n+4	111	9,93%	135,92
n+5	123	11,05%	150,74
n+6	130	11,68%	155,76

Por fim, foi realizada a aferição das equações inicialmente aceitas para as projeções de preços da nafta, do eteno e dos polietilenos. O período utilizado para a aferição foi de janeiro a junho de 2006, ou seja, foi calculada a degeneração dos erros para 6 períodos. Os resultados mostram que, comparativamente com os erros médios calculados no período de treinamento, foram verificadas melhorias na nafta,

pouca diferença no eteno, e um aumento de degeneração do erro nos polietilenos, em especial no caso do PEBDL. Neste caso os erros obtidos nos testes de aferição foram significativamente maiores quando comparados com os resultados para o período de treinamento.

Nas tabelas a seguir, pode-se verificar que na aferição para as projeções de preços da nafta a degeneração dos erros diminuiu frente ao resultado do treinamento. Já nos casos do PEAD e do PEBD, os erros na aferição não apresentaram melhoria, se situando praticamente nos mesmos patamares do treinamento.

Tabela 11

Erros calculados para a nafta na aferição do modelo regressão múltipla

PREÇO NAFTA			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	37	6,18%	40,7
n+2	42	7,08%	45,0
n+3	30	5,14%	38,0
n+4	17	2,94%	19,7
n+5	27	4,66%	27,7
n+6	31	5,67%	31,4

Tabela 12

Erros calculados para o eteno na aferição do modelo regressão múltipla

PREÇO ETENO			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	69	6,45%	78,1
n+2	93	7,28%	105,3
n+3	100	8,29%	113,5
n+4	108	9,11%	112,8
n+5	104	8,81%	106,7
n+6	31	2,78%	31,1

Tabela 13

Erros calculados para o PEAD na aferição do modelo regressão múltipla

PREÇO PEAD GRAU SOPRO			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	106	6,18%	140
n+2	190	10,18%	218
n+3	208	10,12%	227
n+4	223	10,32%	234
n+5	245	11,09%	256
n+6	201	11,18%	201

Tabela 14

Erros calculados para o PEBD na aferição do modelo regressão múltipla

PREÇO PEBD GRAU FILME			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	129	7,69%	159
n+2	208	11,82%	236
n+3	235	13,45%	245
n+4	236	13,57%	245
n+5	255	14,69%	265
n+6	203	12,28%	203

Tabela 15

Erros calculados para o PEBDL na aferição do modelo regressão múltipla

PREÇO PEBDL GRAU FILME BUTENO			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	149	9,17%	184
n+2	233	13,69%	264
n+3	266	15,74%	281
n+4	280	16,66%	288
n+5	302	17,96%	311
n+6	263	16,40%	263

Com base em uma avaliação qualitativa do comportamento das séries de preços de polietilenos, buscou-se pesquisar as causas da forte degeneração do erro para o período de aferição. Tendo em vista que os preços das matérias-primas tiveram boa previsibilidade nos primeiros seis meses de 2006, a hipótese investigada é de que fatores relacionados como mercado estejam interferindo nos preços dos polietilenos, em especial do PEBDL. Neste sentido, deve-se levar em consideração a entrada em operação da unidade de PEAD/PEBDL da Rio Polímeros, aumentando gradativamente a oferta de produto desde o início do ano.

O gráfico a seguir mostra a relação entre os preços do PEBDL projetados pelo modelo proposto a cada mês, e os preços efetivos no período de aferição. Verifica-se que houve uma queda de preços enquanto que as matérias-primas apontavam para o aumento, devido à pressão por repasse de custos. A análise qualitativa neste caso indica que a superoferta de produto levou a uma queda de preços dos polietilenos mesmo com os custos subindo.

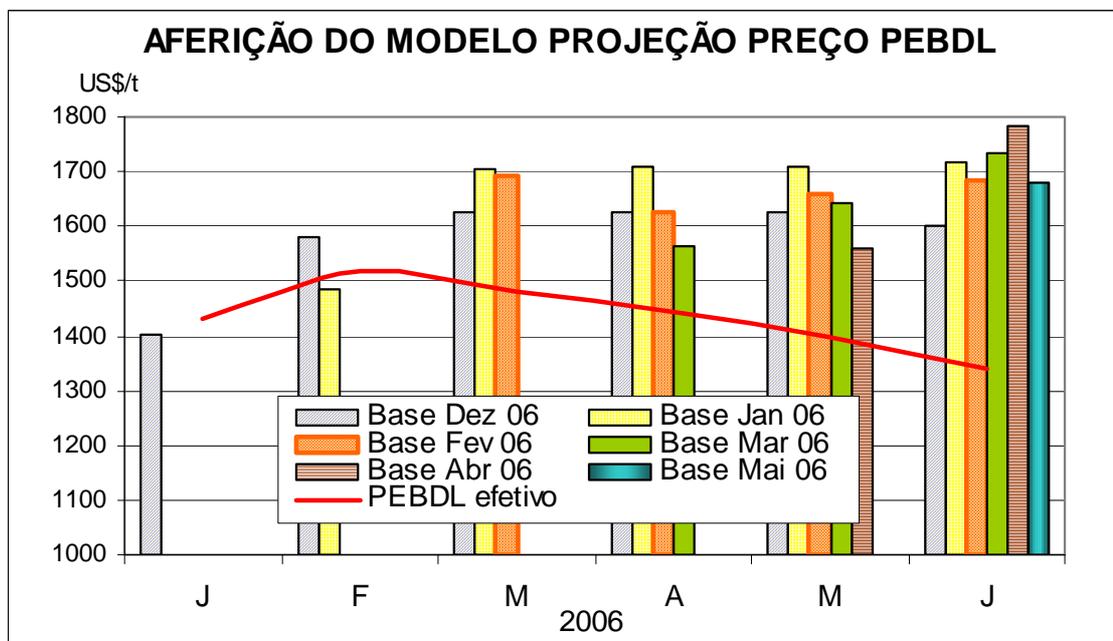


Gráfico 10: Comparação entre os preços efetivos e os preços projetados a cada período para o PEBDL, entre os meses de janeiro a junho de 2006, com base na regressão múltipla.

A comparação do comportamento de mercado entre os polietilenos neste caso se faz necessária para o entendimento das causas pelas quais o efeito da oferta foi mais intenso no PEBL frente ao PEBD e o PEAD. Pode-se citar os seguintes fatos:

- O PEBDL foi a resina mais produzida inicialmente pela Rio Polímeros;
- O mercado de filme convencional, onde está inserido o PEBDL, é extremamente competitivo, o que pressupõe maior suscetibilidade à queda de preço;
- No caso do PEBD, a degeneração foi maior do que no caso do PEAD, pois, apesar de não ter havido aumento de produção, este mercado é diretamente afetado pela oferta de PEBDL, já que estas resinas são utilizadas em conjunto, como blenda, na maior parte das aplicações de filme convencional.

Em resumo, apesar dos *drivers* de mercado não terem apresentado boa correlação na análise matemática, deve-se levar em conta que estes fatores, quando ocorrem fora de condições normais, podem vir a interferir nos preços. Significa dizer que flutuações de mercado suaves, como por exemplo, de sazonalidade ou recuperação da economia, não afetam significativamente nos preços. Por outro lado, eventos especiais, como entrada de um novo *player*, ou um choque econômico, devem ser avaliados na previsão do comportamento dos preços destes produtos.

7.2.2 Teste com Redes Neurais Artificiais (RNA)

Em um segundo momento foram feitos testes para a previsão dos preços dos polietilenos com o uso do método de Redes Neurais Artificiais (RNA), com o mesmo conjunto de dados utilizado na regressão múltipla. Isso possibilitou a avaliação

comparativa dos resultados obtidos com os dois instrumentos, o de regressão e o de RNA.

Com o intuito de verificar o potencial da ferramenta (RNA) para fazer as previsões, foi testada inicialmente uma rede do tipo *Multi-Layer Feedforward Nets (MLF)*, também conhecida como *Multy-Layer Perceptron (MLP)*, que tem como característica a capacidade de trabalhar com modelos complexos de relações entre variáveis independentes com uma variável dependente (NEURALTOOLS, 2006). O método adotado para treinamento de rede foi o de aprendizado supervisionado, em que são fornecidos pelo supervisor externo os dados de entrada e de saída desejadas correspondentes - se trata do método indicado para o desenvolvimento de técnicas de previsão (HAYKIN, 2001).

Para tal utilizou-se o software Matlab por ser uma ferramenta completa e disponível. Uma desvantagem do Matlab frente a outros softwares como o Forecaster-xl e o NeuralTools - Palisade, é que a determinação da melhor arquitetura e do tipo de aprendizado exige várias tentativas. No caso presente, a topologia da rede (número de camadas/neurônios) a ser utilizada foi pré-estabelecida a partir do trabalho desenvolvido anteriormente por Araújo (2005)¹¹, o que diminuiu bastante o esforço de configuração da rede para a solução do problema.

O trabalho de detecção dos tipos de variáveis a serem incorporadas para os testes de treinamento também foi otimizado. O carregamento da rotina da RNA foi feito com as mesmas variáveis aceitas nas simulações com regressão múltipla, ou seja, foram descartadas as variáveis que não deram bons resultados anteriormente. As defasagens temporais também foram idênticas àquelas aplicadas na regressão. Neste caso, as diferentes defasagens foram utilizadas ao mesmo tempo, já que a RNA permite correlacionar as variáveis entre si em períodos defasados (HAYKIN, 2001).

Alem das variáveis aceitas na regressão, foram incluídas as variáveis “Preço BRENT n-1” e “Nível Operacional n-1”, proporcionando nova chance de avaliação

¹¹ A experiência em Redes Neurais Artificiais adquirida por Milton Aluísio G. Araújo, em seu trabalho de dissertação de mestrado, intitulado “Previsão de Demanda de Energia Elétrica por Meio de Redes Neurais Artificiais”, foi aproveitada no presente estudo para o desenvolvimento da arquitetura da rede.

das mesmas. Desta forma, a RNA seleciona por si só as variáveis com melhor correlação para o resultado desejado. No Anexo 5 encontram-se as séries históricas para as variáveis utilizadas na simulação com o RNA.

A rede foi construída com cinco variáveis de entrada e uma de saída. A arquitetura da rede adotada foi 5, 15, 1, ou seja, 5 elementos na camada de entrada, 15 elementos na camada oculta e uma unidade na camada de saída. A base de dados se constituiu de 44 observações, sendo 70% destas utilizadas para treinamento e 30% para aferição.

Os resultados obtidos inicialmente não foram satisfatórios, tendo sido feitas tentativas com diversas topologias, sem convergência para o padrão esperado. No máximo apontaram para a possibilidade de convergir, mas os erros calculados foram grandes. A hipótese é de que o número de observações não foi suficiente para o treinamento, ou seja, o tamanho da amostra teria sido muito pequeno.

A alternativa encontrada para contornar o problema foi aumentar o tamanho da amostra através da interpolação dos dados, tendo sido calculado pontos intermediário através de médias aritméticas entre as observações. Supõe-se que tal medida não tenha afetado os resultados da RNA, gerando um volume de dados de treinamento suficientes para estabelecer uma correta relação entre a entrada e a saída. Com isso se obteve uma ampliação da amostra para 88 pontos. Foi utilizada a mesma proporção entre treinamento e aferição (70/30), mas a interpolação não ajudou na melhora dos resultados. A rede foi treinada com a matriz interpolada e estimada para os 6 pontos de 2006, e os resultados se mantiveram iguais. Outra alternativa foi treinar a rede usando toda a amostra, o que reduziu o erro de treinamento, mas não o de predição. Após várias tentativas, a hipótese mais provável é de que o tamanho da amostra não tenha sido suficiente para um bom treinamento e estimativas confiáveis com o uso do software Matlab.

Por fim foram feitas experimentações com o NeuralTools, com base no Palisade - suplemento estatístico do Microsoft Excel, com o intuito de verificar a real limitação do tamanho da amostra. A arquitetura utilizada foi a *Generalized Regression Neural Nets (GRN)*, que apresenta algumas vantagens com relação à arquitetura *Multi-Layer Feedforward Nets (MLF)*. Entre elas pode-se citar a rapidez

no processo de treinamento da rede e o fato de não exigir definição da topologia da rede (NeuralTools, 2006).

O PEAD foi novamente o primeiro produto testado, sendo 5 as variáveis de entrada utilizadas inicialmente: preço do petróleo WTI, preço da nafta no Brasil, preço do eteno no Brasil, nível operacional do PEAD e o próprio preço do PEAD no Brasil.

No processo de treinamento, foi feita uma especulação em nível de 6 defasagens entre as variáveis de entrada e a de saída, no caso o $PEAD_{n+1}$. Desta forma, eliminaria-se a necessidade de disponibilizar variáveis de entrada projetadas, supondo-se que a aprendizagem com as próprias séries históricas são suficientes para a projeção em um horizonte de seis meses.

Foram adotados os mesmos conjuntos de dados para treinamento e validação que os utilizados com o Matlab, ou seja, treinamento de março de 2002 a dezembro de 2005, e aferição de janeiro a junho de 2006. Foram feitas simulações para defasagens no tempo de $n+1$ até $n+6$. A performance do modelo de uma forma geral foi muito boa, não havendo problemas com o tamanho da amostra.

Entre os resultados apresentados no treinamento, destaca-se o impacto relativo entre as variáveis de entrada. Conforme a defasagem no tempo, o grau de importância das variáveis se altera. O gráfico a seguir auxilia na análise do impacto das variáveis no caso do PEAD. Em todos os períodos o preço do petróleo predomina como sendo a variável mais explicativa. No entanto, todas as demais variáveis mostraram em algum momento uma maior participação. Isto sugere que todas as variáveis em análise poderão vir a ser aproveitadas para a predição dos preços do PEAD com o uso desta técnica.

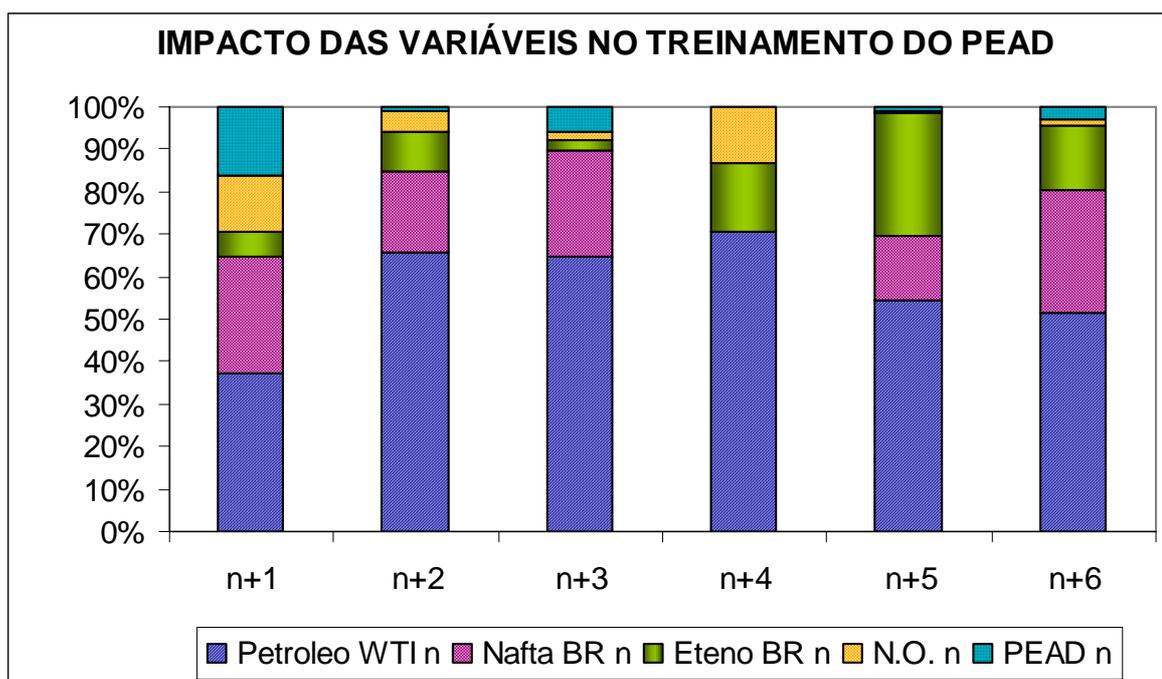


Gráfico 11: Análise do impacto relativo entre as variáveis nos testes de treinamento para o PEAD com o uso de Redes Neurais Artificiais para os períodos de n+1 a n+6.

Em seguida foram feitas diversas simulações para o PEAD, com as mesmas variáveis, porém com diferentes defasagens no tempo entre as variáveis de entrada, conforme havia sido feito nos experimentos anteriores. Também foi testada novamente a aderência com o preço internacional do PEAD, inserindo esta variável no conjunto das variáveis já citadas. Após várias tentativas de treinamento da rede, ficou evidente o resultado superior com o uso das 5 variáveis inicialmente testadas, com uma previsão de 6 meses à frente, sem defasagem no tempo entre as variáveis de entrada.

Sendo assim, foram utilizados o mesmo modelo de rede e parâmetros definidos para o PEAD para treinamento e aferição com os preços do PEBDL e o PEBD. O impacto relativo entre as variáveis para o PEBDL e o PEBD apresentou comportamento semelhante ao que tinha sido observado no PEAD, ou seja, predominância da influência do preço do petróleo com relação às outras variáveis, que também são explicativas, porém em menor grau.

No treinamento obteve-se os resultados apresentados nas tabelas 16, 17 e 18, para o PEAD, PEBDL e PEBD, respectivamente. Da mesma forma que na regressão, a análise dos resultados foi feita com base no cálculo do erro médio

absoluto, erro médio relativo e desvio padrão relativo. A alta precisão da rede e a baixa degeneração dos resultados foram constatadas em todos os casos.

Tabela 16

Erros no treinamento para o PEAD com o uso da técnica de redes neurais

PREÇO PEAD GRAU SOPRO			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	9	1,04%	16
n+2	22	2,21%	34
n+3	15	1,44%	23
n+4	31	3,18%	47
n+5	46	4,33%	66
n+6	17	1,53%	26

Tabela 17

Erros no treinamento para o PEBD com o uso da técnica de redes neurais

PREÇO PEBD GRAU FILME			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	28	2,56%	35
n+2	21	2,12%	29
n+3	17	1,66%	27
n+4	12	1,37%	25
n+5	32	2,79%	41
n+6	5	0,49%	10

Tabela 18

Erros no treinamento para o PEBDL com o uso da técnica de redes neurais

PREÇO PEBDL GRAU FILME BUTENO			
Período	Erro Médio Absoluto	Erro Médio Relativo	DPR
n+1	10	1,05%	14
n+2	16	1,81%	29
n+3	20	2,18%	36
n+4	16	1,56%	30
n+5	15	1,56%	26
n+6	12	1,14%	21

Nos testes de aferição, os resultados ficaram aquém da performance obtida no treinamento. Deve ser ressaltado que no caso PEBDL, houve uma exceção, aonde erros médios relativos acima de 10% foram verificados. Foi observada a mesma distorção apresentada com o uso de regressão, ou seja, preços projetados superiores aos preços efetivos para o período em análise. A suposição é de houve um efeito pontual da superoferta de produto sobre o comportamento dos preços, ocasionando uma queda nas cotações entre janeiro e junho de 2006.

A tabela 19 mostra os erros médios relativos na aferição para os 3 polietilenos, com a degeneração para um horizonte de até 6 meses de projeção. Comparativamente com os resultados da regressão, se verifica um ganho de precisão com o uso de RNA que não deve ser desprezado.

Tabela 19

Erros médios relativos na aferição com o uso da técnica de redes neurais

ERRO MÉDIO RELATIVO			
Período	PEAD GRAU SOPRO	PEBDL GRAU FILME BUTENO	PEBD GRAU FILME
n+1	5,79%	6,47%	4,52%
n+2	4,46%	11,51%	5,54%
n+3	5,60%	13,35%	3,62%
n+4	6,58%	5,81%	5,38%
n+5	5,00%	4,17%	2,97%
n+6	2,90%	5,88%	7,85%

8 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS PROJEÇÕES E SUAS IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

Apresenta-se a seguir um breve resumo dos resultados obtidos nos testes de predição, proporcionando uma análise comparativa entre o modelo desenvolvido com o uso da técnica estatística de regressão e o de Redes Neurais Artificiais (RNA), e a escolha do melhor modelo que atenda os objetivos propostos neste estudo. Por fim são feitas algumas considerações a respeito das implicações gerenciais do trabalho, suas potencialidades e aspectos relevantes a serem avaliados futuramente na implementação do modelo desenvolvido.

8.1 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A fim de escolher a ferramenta a ser adotada, é interessante comparar os erros médios relativos obtidos nos testes de aferição com cada uma das técnicas propostas. A tabela 20 permite observar os resultados apresentados para a previsão de preços dos polietilenos em um horizonte de até seis meses, com o uso das técnicas de regressão e de RNA.

Tabela 20

Análise comparativa dos erros médios relativos na aferição com o uso das técnicas de regressão múltipla e de redes neurais

ERRO MÉDIO RELATIVO						
Período	PEAD GRAU SOPRO		PEBDL GRAU FILME BUTENO		PEBD GRAU FILME	
	REGRESSÃO	RNA	REGRESSÃO	RNA	REGRESSÃO	RNA
n+1	6,18%	5,79%	9,17%	6,47%	7,69%	4,52%
n+2	10,18%	4,46%	13,69%	11,51%	11,82%	5,54%
n+3	10,12%	5,60%	15,74%	13,35%	13,45%	3,62%
n+4	10,32%	6,58%	16,66%	5,81%	13,57%	5,38%
n+5	11,09%	5,00%	17,96%	4,17%	14,69%	2,97%
n+6	11,18%	2,90%	16,40%	5,88%	12,28%	7,85%

Nesta análise percebe-se claramente uma performance melhor com o uso da técnica de redes neurais. Os resultados estatísticos mostram que a ferramenta é apropriada para a previsão, levando-se em conta a baixa previsibilidade devido à volatilidade dos preços dos produtos na cadeia produtiva dos polietilenos. Entre os critérios para a escolha da técnica a ser adotada, deve-se analisar também a condição de uso da ferramenta. Apesar da técnica de redes neurais ser mais obscura, ou seja, não propiciar o amplo entendimento do fenômeno como no caso da regressão, a superioridade na performance neste caso e a praticidade no uso indicam a aplicação da técnica de redes neurais nas projeções dos preços dos polietilenos para o médio-prazo.

A apresentação dos valores dos parâmetros estimados para os polietilenos com o uso de RNA para o período de janeiro a junho de 2006 é feita nos gráficos a seguir. Apesar dos resultados dos testes estatísticos terem se mostrados, de uma forma geral, satisfatórios, o período em análise é atípico devido à entrada de um novo competidor no mercado, conforme citado anteriormente. Tal evento ajuda a explicar a diferença de tendência entre os preços previstos e realizados no período, em particular no caso do PEAD e PEBDL. Isto indica a necessidade de se avaliar qualitativamente os resultados que forem obtidos através do modelo matemático, apontando um viés de preços para o médio-prazo quando a informação for relevante e consistente, validada por *experts* em análise do mercado.

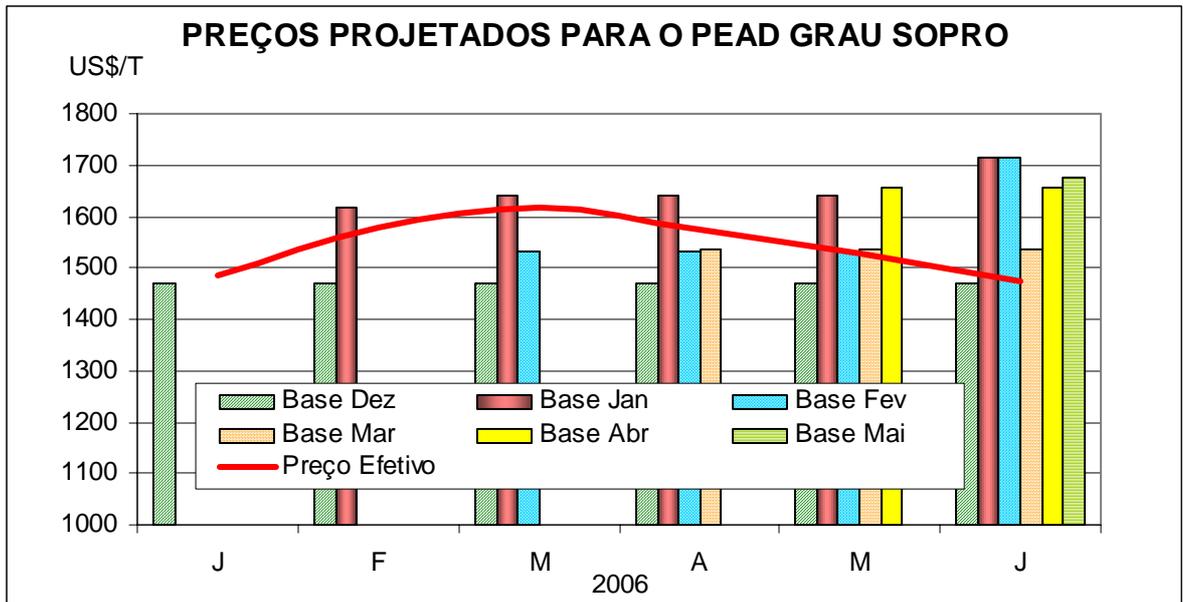


Gráfico 12: Análise comparativa dos preços efetivos de PEAD com os projetados mensalmente para o período de janeiro a junho de 2006, com base na aplicação da técnica de RNA.

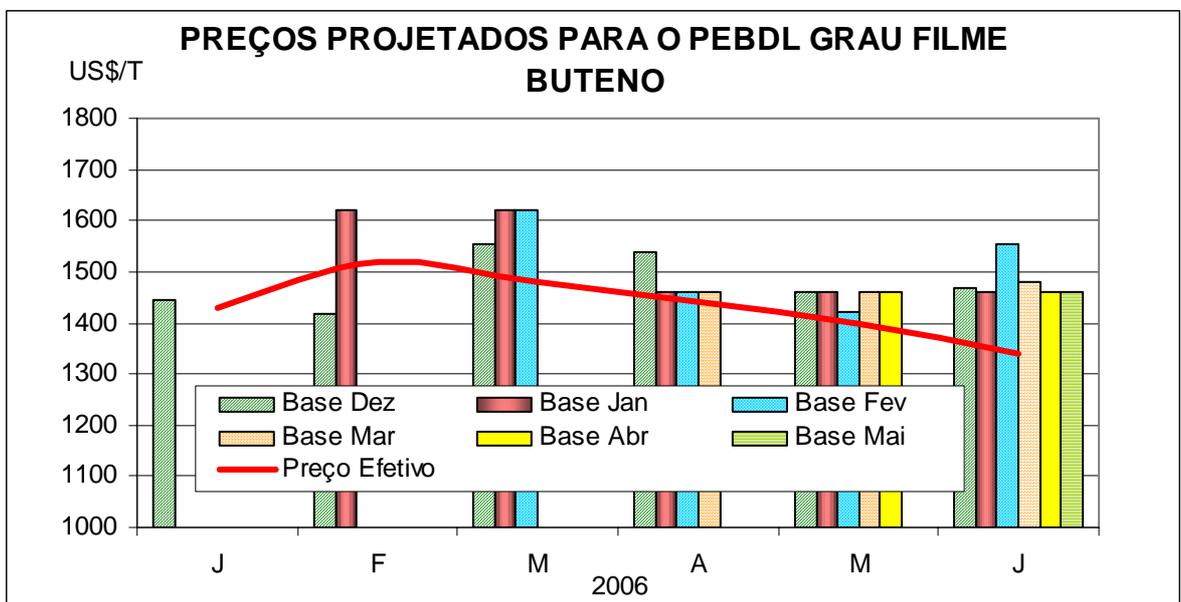


Gráfico 13: Análise comparativa dos preços efetivos de PEBDL com os projetados mensalmente para o período de janeiro a junho de 2006, com base na aplicação da técnica de RNA.

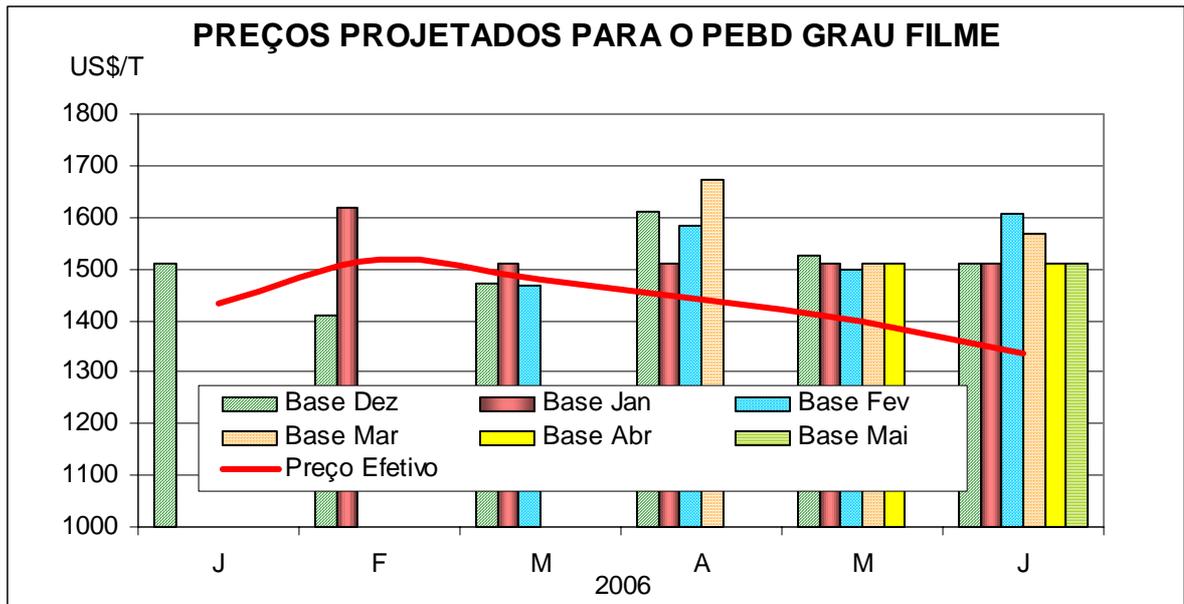


Gráfico 14: Análise comparativa dos preços efetivos de PEBD com os projetados mensalmente para o período de janeiro a junho de 2006, com base na aplicação da técnica de RNA.

8.2 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

Alguns aspectos devem ser observados para a implementação futura do modelo desenvolvido para projeção de preços mensais de polietilenos. Pressupõe-se a necessidade de uma revisão periódica do cálculo das equações matemáticas, tendo em vista o dinamismo deste mercado. Recomenda-se em um primeiro momento trabalhar com equações estruturalmente iguais aquelas desenvolvidas inicialmente, porém com possibilidade de incremento gradativo na precisão, uma vez que o número de observações aumenta com o passar do tempo.

No sentido de aprimorar o modelo, outras variáveis também poderão vir a ser testadas no futuro. Pode-se destacar o indicador relativo ao preço dos polietilenos na Ásia, que foram excluídas do modelo estabelecido por não terem contribuído significativamente naquele momento. Desta forma, recomenda-se a reavaliação

periódica sobre a possibilidade de incorporar estas e outras variáveis especulativas ao modelo desenvolvido.

Pode-se sugerir que o mesmo modelo seja testado e implementado para os outros tipos de polietilenos, considerando-se que se constituem da mesma linha de produtos, com a mesma lógica de custos e comportamento de mercado semelhante. Os tipos de polietilenos para os quais se viabilizaria a aplicação deste modelo, são aqueles cujas séries históricas de preços mensais são disponíveis, e com um número de observações próximo daquele utilizado no desenvolvimento deste modelo. A relação dos tipos de polietilenos cuja implementação do modelo de projeção poderia ser avaliada atualmente encontra-se no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Descrição dos tipos de produtos para implementação futura do modelo de projeção de preços.

PEBD	PEBDL	PEAD
PEBD Filme Convencional	PEBDL Filme Grau Buteno	PEAD Filme
	PEBDL Filme Grau Octeno	PEAD Grau Sopro
		PEAD Grau Injeção

A base de dados históricos de preços de produtos petroquímicos no Brasil é de domínio das empresas MaxiQuim e Intellichem, disponibilizada aos clientes eletronicamente através do serviço QuiMax Prices. A base de dados é atualizada mensalmente através de pesquisa primária realizada junto às empresas produtoras, distribuidoras e consumidoras destes produtos. Os resultados do presente trabalho poderão vir a ser implementados, resultando em um novo serviço a ser oferecido no mercado, a partir da implementação e sistematização do modelo de projeção desenvolvido.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido e validado um modelo de projeção de preços dos polietilenos no Brasil para o curto-prazo. Para tanto, foram feitas investigações sobre quais as variáveis mais explicativas para o caso, e a ferramenta de previsão que seria a mais adequada para a obtenção de resultados satisfatórios.

Entre as variáveis especuladas o preço do petróleo foi a que se mostrou mais explicativa, mostrando forte influência sobre os preços mensais dos polietilenos no Brasil. A alta volatilidade das cotações do óleo cru no momento atual e as incertezas sobre o seu comportamento futuro no mercado internacional, demonstram a dificuldade e a importância da previsão de preços correlacionados com esta matéria-prima. As outras variáveis incluídas no modelo foram os preços da nafta e do eteno no mercado brasileiro e no nível operacional do produto a ser projetado. Os preços ajudam a explicar o encadeamento de custos na cadeia produtiva, enquanto que o nível operacional busca retratar o efeito do mercado sobre os preços.

A inclusão e substituição de variáveis no modelo poderão vir a ser testadas futuramente, dado o dinamismo deste mercado. Os preços dos polietilenos na Ásia e nos Estados Unidos poderão ser adicionados entre as variáveis, por terem apresentado boa correlação, mesmo não mostrando avanço significativo nos resultados obtidos com as demais variáveis mencionadas.

Foram feitos diversos testes com duas técnicas diferentes: o método estatístico convencional de regressão e a ferramenta de Redes Neurais Artificiais (RNA). Os mesmos parâmetros foram utilizados em ambas as técnicas, sendo que a performance do modelo com base em RNA se mostrou mais eficiente. Neste caso a ferramenta utilizada foi a *NeuralTools* em rede do tipo *MLF – Multi-Layer*

Feedforward Nets. Resultados satisfatórios, aliados com a praticidade e rapidez no uso levaram à adoção da RNA no modelo construído.

Por fim, apresenta-se na figura a seguir, o desenho que retrata de forma sucinta o modelo validado no presente trabalho. Os resultados demonstraram a viabilidade de implementação de tal modelo para as projeções do polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) e o polietileno de baixa densidade (PEBD), para um horizonte de 6 meses.

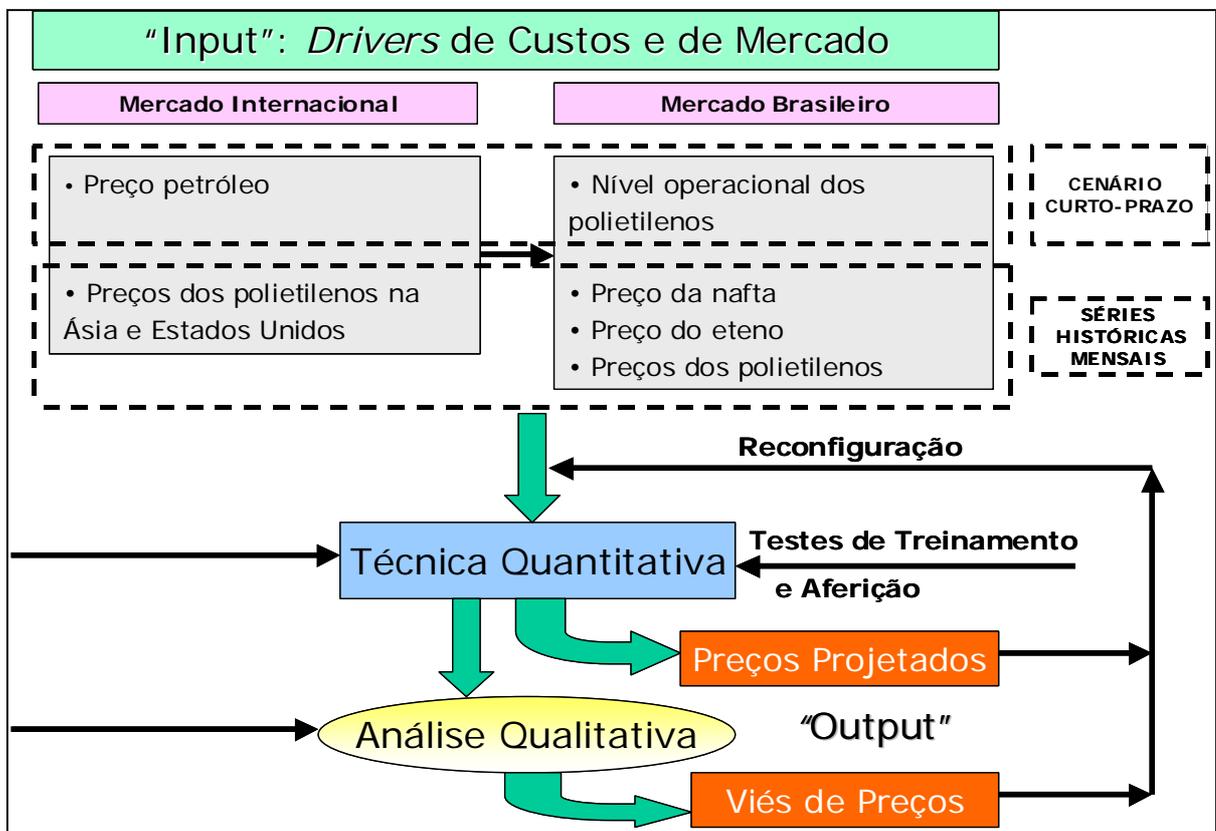


Figura 7: Desenho do modelo desenvolvido para a projeção de preços de polietilenos para o médio-prazo no Brasil.

Entre as limitações encontradas no trabalho, destaca-se a dificuldade em detectar variáveis mensuráveis que retratem de forma ampla as influências do mercado sobre os preços mensais dos polietilenos. O nível operacional foi a variável que demonstrou melhor correlação matemática, porém com limitações em eventos especiais de difícil mensuração. Isto porque na base de dados não existem

informações que auxiliem no aprendizado da rede sobre fatores que ocorrem fora de condições normais de mercado e que possam vir a interferir nos preços. Desta forma o modelo contempla uma análise qualitativa dos preços projetados, com possibilidade de indicação de um viés quando for possível antecipar algum evento relevante.

Cabe ressaltar que além dos polietilenos, este modelo poderá ser adaptado para o uso como instrumento de previsão de preços de outras resinas termoplásticas, cujos processos de formação de preços são semelhantes e com alta sinergia de mercado.

Outro benefício prático do trabalho é permitir melhorias ao longo do tempo na qualidade das previsões em função do acúmulo sistemático de dados históricos, proporcionando também um alongamento do horizonte de projeção para mais de 6 meses. A possibilidade de estender o período projetado para 12 meses, amplia as alternativas de uso dos preços projetados, pelas empresas que compram ou vendem polietilenos, na elaboração do orçamento anual, por exemplo.

O modelo desenvolvido foi validado através de discussão com *experts* do mercado. Foram apresentados individualmente para algumas pessoas relacionadas com o setor petroquímico no Brasil, os resultados dos testes realizados com as variáveis selecionadas. De uma forma geral a percepção foi de que os erros médios relativos obtidos são aceitáveis, e as variáveis escolhidas são relevantes para a previsão do comportamento dos preços de polietilenos no Brasil.

Desta forma, pode-se inferir que o modelo validado viabiliza a implementação de projeção de preços de polietilenos no Brasil para o curto-prazo, com o intuito de apoiar organizações relacionadas com o setor petroquímico, subsidiando os processos de decisão relacionados à gestão e planejamento do negócio. Entre as diversas aplicações para os preços projetados pode-se citar o planejamento de compra de matéria-prima, de venda, programação de produção, projeção de resultados de empresas de capital aberto e elaboração de orçamento. Nestas atividades, entre outras, as organizações poderão adotar as projeções mensais de preços de polietilenos no Brasil como parâmetro para a tomada de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A C. **Planeta Plástico**. Porto Alegre: Sagra Luzzato, 2001.

ARAÚJO, M. A G. **Previsão de Demanda de Energia Elétrica por Meio de Redes Neurais Artificiais**. Porto Alegre, 2005. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação da Ufrgs, Porto Alegre, 2005.

BLANCO, P. F. El barril inquieta a todos. **Revista Petroquímica, Petróleo, Gás & Química**, n.198, p.08 - 12, out. 2004.

BORGES, E. Petróleo – O preço já não pesa tanto. **Conjuntura Econômica**, v. 58, n. 07, p.24 - 44, jul. 2004.

CMAI – Chemical Markets Associates, Inc. Polyethylene Market Overview. In: SEMINÁRIO APLA, Brasil, p.18, nov. 2003.

_____. Inc. Middle East Investments – An Owners Perspective of Changes & Challenges. In: 2006 WORLD PETROCHEMICAL CONFERENCE, Houston, p.83, mar. 2006.

EIA – Energy Information Administration – US Government. Disponível em <<http://www.eia.doe.gov>>. Acesso em: jan. 2005.

HAYKIN, S. **Redes Neurais**: princípios e práticas. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HUNTSMAN, Peter Huntsman Corporation. In: 2006 WORLD PETROCHEMICAL CONFERENCE, Houston, p.3, mar 2006.

INTELLICHEM, Inc. **Petrochemical Workshop – Prices Forecasting Methods.** Miami, dez. 2002

KUPFER, D. Estrutura e Estratégia na Cadeia Petroquímica – Plástico. In: FÓRUM LATINOPLAST, p.04 e 07, Gramado, Rio Grande do Sul, set. 2004.

LEVINE; D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Statistics for Managers Using Microsoft Excel.** 2.th. Upper Saddle River 1997.

LOPES, C. A S. **Precificação do Gás Natural Uso Matéria-prima (GNMP).** Rio de Janeiro, 2004. Monografia de Pós-Graduação de Especialização Executiva em Petróleo e Gás Natural – COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.

MAÇADA, A C.G; BECKER, J.L. A Validação do Modelo de Análise de Eficiência dos Investimentos Estratégicos em Tecnologia de Informação (TI) nos Bancos Brasileiros, p 784 In: XXXI SBPO, 1999.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S. C.; McGEE, V. E. **Forecasting: Methods and Applications.** 2.ed. (s.c.): John Wiley & Sons 1983.

NUNES, L. F. M. Aspectos da Formação de Preços na Indústria Petroquímica. In: I CONGRESSO DA INDÚSTRIA QUÍMICA E PETROQUÍMICA DO MERCOSUL, Argentina, 1998.

MAXIQUIM Assessoria de Mercado, 2005 - empresa de consultoria especializada no mercado petroquímico brasileiro; Material elaborado em junho de 2005 para palestras proferidas para clientes.

PURVIN; GERTZ, INC. Impact of High Energy Prices on the Chemical Industry. **Technical Report**, Feb, 2001.

ANEXOS

ANEXOS I
Séries históricas mensais de preços
internacionais

ANEXO 1

PREÇOS INTERNACIONAIS: PETRÓLEO, NAFTA E POLIETILENOS								
Fonte: 1) EIA - Energy Information Administrator								
2) CMAI - Chemical Market Associates								
Período	Petróleo Brent ¹	Petróleo WTI ¹	Nafta ARA ²	PEAD Sopro ²	PEAD Sopro ²	PEAD Sopro ²	PEBDL Buteno ²	PEBD Filme ²
	Europa Ocidental (US\$/baril)	América do Norte (US\$/baril)	Europa Ocidental (US\$/ton)	América do Norte Contrato (Cts/lb)	América do Norte Spot (Cts/lb)	Sudeste Asiático Spot (US\$/ton)	Nordeste Asiático Spot (US\$/ton)	Nordeste Asiático Spot (US\$/ton)
mar-2002	23,94	24,35	218	35,00	24,49	570	570	610
abr-2002	26,15	26,26	229	37,00	25,86	630	595	625
mai-2002	25,61	27,06	218	37,00	24,45	605	560	620
jun-2002	24,44	25,50	210	40,00	22,23	560	490	535
jul-2002	25,84	26,92	224	42,00	23,13	523	530	585
ago-2002	26,60	28,34	234	42,00	24,04	553	550	610
set-2002	28,40	29,71	258	42,00	23,59	565	550	620
out-2002	27,55	28,87	244	41,50	22,68	548	535	610
nov-2002	24,25	26,29	221	41,00	22,23	535	520	600
dez-2002	28,24	29,45	263	40,00	24,04	543	550	620
jan-2003	30,69	32,99	310	42,00	25,86	605	610	635
fev-2003	32,60	35,75	337	45,00	29,03	675	690	720
mar-2003	30,22	33,43	312	51,00	31,30	730	715	770
abr-2003	24,77	28,26	227	51,00	27,22	640	620	690
mai-2003	25,61	28,14	216	49,00	22,68	540	530	595
jun-2003	27,34	30,66	248	47,00	24,95	590	565	630
jul-2003	28,37	30,70	254	46,00	25,40	595	590	645
ago-2003	29,71	31,59	269	46,00	26,31	620	605	660
set-2003	27,03	28,25	251	49,00	26,76	635	640	685
out-2003	29,38	30,30	274	50,00	27,22	640	630	670
nov-2003	28,83	31,06	288	50,00	29,60	690	685	748
dez-2003	29,75	32,14	303	50,00	31,75	740	720	800
jan-2004	31,01	34,24	330	50,00	34,02	790	780	830
fev-2004	30,68	34,74	310	52,00	38,56	890	880	930
mar-2004	33,23	36,71	327	53,00	36,74	850	865	935
abr-2004	33,17	36,69	334	51,00	35,38	830	830	895
mai-2004	37,57	40,24	375	54,00	36,06	845	840	900
jun-2004	35,30	38,00	350	50,00	37,19	870	855	925
jul-2004	38,29	40,79	374	50,00	38,56	890	890	980
ago-2004	42,05	44,90	420	54,00	44,68	1.025	1.030	1.140
set-2004	43,29	45,90	420	54,00	49,44	1.130	1.135	1.370
out-2004	49,63	53,24	468	59,00	47,63	1.090	1.075	1.390
nov-2004	43,79	48,44	432	65,00	49,44	1.130	1.140	1.420
dez-2004	40,02	43,20	385	65,00	45,13	1.035	1.045	1.300
jan-2005	44,09	46,83	393	65,00	43,55	1.000	1.020	1.190
fev-2005	45,68	47,94	416	65,00	46,27	1.060	1.070	1.255
mar-2005	53,16	54,33	478	65,00	48,76	1.115	1.110	1.273
abr-2005	52,64	52,89	472	63,00	45,81	1.050	1.100	1.185
mai-2005	49,32	49,84	419	59,00	43,09	990	1.028	1.105
jun-2005	54,95	56,18	438	55,00	41,05	945	978	1.025
jul-2005	57,76	58,68	468	55,00	43,09	990	1.025	1.063
ago-2005	63,93	64,31	528	61,00	45,13	1.035	1.065	1.070
set-2005	63,25	65,52	571	70,50	46,83	1.073	1.095	1.120
out-2005	59,05	62,28	546	79,00	50,01	1.143	1.140	1.175
nov-2005	55,61	58,27	481	87,00	46,49	1.065	1.093	1.103
dez-2005	57,42	59,41	498	83,00	46,04	1.055	1.060	1.055
jan-2006	63,47	65,39	561	79,00	49,67	1.135	1.130	1.125
fev-2006	60,87	61,57	525	75,00	49,90	1.140	1.140	1.135
mar-2006	62,80	62,94	528	71,00	48,76	1.115	1.110	1.100
abr-2006	70,43	69,57	591	67,00	50,12	1.145	1.140	1.140
mai-2006	70,62	70,84	601	70,00	53,52	1.220	1.195	1.210
jun-2006	71,40	70,95	615	73,00	58,10	1.267	1.235	1.290

ANEXOS II
Séries históricas mensais dos preços
nacionais dos produtos a serem
projetados

ANEXO 2

PREÇOS NO BRASIL: NAFTA, ETENO E POLIETILENOS					
Fonte: QuiMax Report (http://www.quimaxlatin.com)					
(1) Matéria-prima do PEBD, PEBDL, e PEAD					
Período	Nafta US\$/ton	Etano (1) US\$/ton	PEBD GP, Filme US\$/ton	PEBDL, Filme Buteno US\$/ton	PEAD, Sopro US\$/ton
Mar-2002	194	457	879	850	949
Apr-2002	226	478	912	895	933
May-2002	218	501	921	903	952
Jun-2002	203	484	839	810	889
Jul-2002	198	456	776	750	828
Aug-2002	216	440	756	730	812
Sep-2002	224	433	715	691	765
Oct-2002	228	406	677	652	719
Nov-2002	264	465	780	744	817
Dec-2002	220	492	794	762	812
Jan-2003	280	494	898	863	920
Feb-2003	304	543	920	946	975
Mar-2003	348	617	1000	1078	1117
Apr-2003	346	739	1077	1162	1170
May-2003	249	689	1035	1099	1128
Jun-2003	222	624	1003	1048	1057
Jul-2003	252	605	944	970	983
Aug-2003	248	537	906	935	943
Sep-2003	279	568	966	981	1010
Oct-2003	261	562	946	963	990
Nov-2003	273	543	926	915	959
Dec-2003	292	568	923	911	956
Jan-2004	313	612	1048	1052	1084
Feb-2004	322	628	1080	1086	1118
Mar-2004	314	689	1088	1094	1126
Apr-2004	330	714	1081	1087	1107
May-2004	315	656	957	951	1006
Jun-2004	378	665	1024	1017	1076
Jul-2004	365	715	1096	1099	1163
Aug-2004	382	742	1164	1159	1226
Sep-2004	437	815	1375	1345	1422
Oct-2004	428	855	1476	1418	1472
Nov-2004	481	959	1478	1405	1458
Dec-2004	447	1005	1487	1399	1452
Jan-2005	392	975	1415	1369	1438
Feb-2005	413	961	1426	1379	1448
Mar-2005	403	895	1390	1345	1426
Apr-2005	506	979	1446	1398	1483
May-2005	495	992	1434	1387	1471
Jun-2005	430	970	1376	1331	1412
Jul-2005	450	938	1369	1324	1404
Aug-2005	471	895	1362	1317	1397
Sep-2005	543	943	1468	1420	1506
Oct-2005	581	997	1606	1553	1647
Nov-2005	560	1061	1675	1620	1718
Dec-2005	467	1038	1510	1461	1532

Jan-2006	502	1049	1480	1431	1486
Feb-2006	593	1139	1570	1519	1577
Mar-2006	536	1132	1530	1480	1616
Apr-2006	534	1068	1537	1442	1575
May-2006	587	1058	1493	1400	1529
Jun-2006	584	1058	1448	1338	1472

ANEXOS III
**Séries históricas mensais do nível
operacional e do consumo aparente dos
polietilenos**

ANEXO 3

VARIÁVEIS DE MERCADO DOS POLIETILENOS NO BRASIL									
Fonte: 1) MaxiQuim Assessoria de Mercado									
2) ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química									
Período	Nível Operacional (%) ¹			Consumo Aparente (toneladas) ²			Produção (toneladas) ²		
	PEAD	PEBDL	PEBD	PEAD	PEBDL	PEBD	PEAD	PEBDL	PEBD
mar-2002	56%	56%	77%	42.332	11.806	27.557	57.128	16.825	50.036
abr-2002	42%	42%	70%	42.526	9.091	33.731	47.745	7.306	45.123
mai-2002	63%	63%	80%	47.258	33.509	42.689	54.765	27.982	52.150
jun-2002	73%	73%	76%	67.388	29.290	43.522	69.914	25.711	49.644
jul-2002	79%	79%	80%	73.868	37.573	50.747	77.860	25.532	52.111
ago-2002	80%	80%	58%	64.197	38.256	37.120	75.001	30.780	37.962
set-2002	84%	84%	75%	67.649	24.590	44.181	81.710	28.462	48.668
out-2002	81%	81%	87%	65.494	33.115	56.098	74.935	31.916	56.641
nov-2002	80%	80%	82%	67.731	27.862	50.092	78.606	26.022	52.925
dez-2002	75%	75%	88%	50.938	21.089	50.641	69.460	29.624	56.889
jan-2003	82%	82%	86%	46.377	31.644	43.703	69.833	37.377	55.538
fev-2003	63%	63%	82%	45.119	23.573	45.774	55.358	27.647	53.351
mar-2003	74%	74%	85%	55.812	28.216	48.216	66.167	30.896	55.258
abr-2003	67%	67%	87%	62.056	23.008	49.488	65.781	22.695	56.378
mai-2003	64%	64%	79%	47.280	28.145	37.795	55.388	28.589	51.027
jun-2003	74%	74%	84%	58.530	23.624	38.247	69.939	27.457	54.577
jul-2003	78%	78%	88%	64.027	23.541	39.942	78.533	24.283	57.133
ago-2003	79%	79%	87%	49.787	33.229	38.633	68.644	35.555	56.256
set-2003	76%	76%	92%	53.054	30.586	46.910	63.066	37.425	59.445
out-2003	74%	74%	93%	60.158	24.857	52.776	72.606	24.885	60.144
nov-2003	70%	70%	88%	52.130	32.885	44.918	63.085	28.997	56.894
dez-2003	89%	89%	89%	60.636	36.485	42.874	82.781	33.662	57.561
jan-2004	68%	68%	87%	46.403	42.670	43.333	55.613	34.018	56.379
fev-2004	62%	62%	85%	56.935	18.218	45.004	64.119	17.957	55.054
mar-2004	84%	84%	85%	66.254	43.969	42.905	75.868	34.067	55.086
abr-2004	72%	72%	86%	56.480	38.662	47.254	61.122	34.034	55.815
mai-2004	78%	78%	84%	69.873	34.380	43.784	70.663	31.857	54.245
jun-2004	83%	83%	80%	61.475	41.482	38.386	70.018	39.496	52.095
jul-2004	87%	87%	89%	60.745	37.596	48.679	73.544	40.505	57.709
ago-2004	81%	81%	93%	62.388	38.874	50.299	71.806	34.326	60.226
set-2004	83%	83%	88%	74.330	30.126	47.332	80.682	28.252	57.231
out-2004	83%	83%	88%	67.167	35.864	46.180	73.364	35.252	57.423
nov-2004	78%	78%	84%	58.870	29.153	45.072	70.121	32.237	54.537
dez-2004	84%	84%	89%	50.085	39.522	45.457	65.896	45.020	57.748
jan-2005	79%	79%	89%	55.051	30.006	45.169	67.571	36.214	57.537
fev-2005	81%	81%	84%	54.328	38.831	45.209	63.786	42.931	54.515
mar-2005	80%	80%	84%	55.646	28.824	42.978	69.202	36.552	54.563
abr-2005	82%	82%	79%	61.234	23.980	39.851	70.640	37.154	51.584
mai-2005	83%	83%	93%	62.938	35.810	50.155	74.441	34.090	60.618
jun-2005	66%	66%	84%	48.797	29.352	43.759	52.351	34.466	54.380
jul-2005	87%	87%	94%	59.120	38.361	48.696	71.455	43.295	61.155
ago-2005	87%	87%	85%	61.893	37.949	43.081	74.207	39.953	55.115
set-2005	77%	77%	91%	54.948	29.969	43.844	67.769	33.977	59.153
out-2005	93%	93%	93%	67.904	44.352	51.830	78.447	43.198	60.206
nov-2005	61%	61%	88%	54.133	21.308	47.650	57.305	22.685	56.924
dez-2005	79%	79%	87%	55.505	30.337	43.270	64.707	38.789	56.164
jan-2006	72%	72%	91%	66.302	54.968	48.806	73.298	54.491	58.831
fev-2006	64%	64%	81%	53.736	46.127	40.729	66.805	46.025	52.479
mar-2006	73%	73%	91%	66.987	49.246	48.093	75.706	53.485	58.430
abr-2006	82%	82%	85%	76.317	48.495	46.331	89.098	55.105	55.366
mai-2006	80%	80%	88%	67.492	40.027	40.460	86.364	55.291	55.799
jun-2006	82%	82%	84%	70.792	46.098	42.549	88.422	56.795	54.781

ANEXOS IV
Matriz de preços de petróleo projetados mensalmente

ANEXO 4

PREÇOS MÉDIOS MENSAIS DO PETROLEO WT (US\$/BARRIL)																										
Fonte: EIA - Energy Information Administrator / STEO																										
ANO	MÊS	EFETIVO	mar-02	abr-02	mai-02	jun-02	jul-02	ago-02	set-02	out-02	nov-02	dez-02	jan-03	fev-03	mar-03	abr-03	mai-03	jun-03	jul-03	ago-03	set-03	out-03	nov-03	dez-03		
2002	J	19,71																								
	F	20,75																								
	M	24,53	20,71																							
	A	26,18	22,62	25,76																						
	M	27,04	22,62	25,76	26,37																					
	J	25,52	22,62	25,76	26,37	26,74																				
	J	26,97	23,53	25,83	26,81	27,82	27,34																			
	A	28,39	23,53	25,83	26,81	27,82	27,34	27,63																		
	S	29,66	23,53	25,83	26,81	27,82	27,34	27,63	27,84																	
	O	28,84	24,47	26,77	27,22	28,32	28,32	28,62	28,54	30,31																
	N	26,35	24,47	26,77	27,22	28,32	28,32	28,62	28,54	30,31	28,20															
	D	29,46	24,47	26,77	27,22	28,32	28,32	28,62	28,54	30,31	28,20	27,48														
	2003	J	32,96	25,81	27,56	27,75	28,85	28,85	29,34	28,99	31,17	27,23	27,12	31,79												
F		35,83	25,81	27,56	27,75	28,85	28,85	29,34	28,99	31,17	27,23	27,12	31,79	33,73												
M		33,51	25,81	27,56	27,75	28,85	28,85	29,34	28,99	31,17	27,23	27,12	31,79	33,73	35,22											
A		28,17	27,83	28,75	28,94	30,04	30,04	30,69	29,38	30,33	26,42	26,28	30,99	33,10	35,36	29,63										
M		28,11	27,83	28,75	28,94	30,04	30,04	30,69	29,38	30,33	26,42	26,28	30,99	33,10	35,36	29,63	27,46									
J		30,66	27,83	28,75	28,94	30,04	30,04	30,69	29,38	30,33	26,42	26,28	30,99	33,10	35,36	29,63	27,46	28,43								
J		30,75	28,28	28,28	28,48	29,57	29,57	30,20	29,48	29,31	25,71	25,35	30,18	32,05	33,07	28,50	26,43	29,00	30,00							
A		31,57	28,28	28,28	28,48	29,57	29,57	30,20	29,48	29,31	25,71	25,35	30,18	32,05	33,07	28,50	26,43	29,00	30,00	30,42						
S		28,31	28,28	28,28	28,48	29,57	29,57	30,20	29,48	29,31	25,71	25,35	30,18	32,05	33,07	28,50	26,43	29,00	30,00	30,42	30,77					
O		30,34	28,29	28,09	28,28	29,38	29,38	30,01	28,94	28,24	25,47	24,68	29,35	30,56	30,76	27,38	26,42	28,00	29,50	29,50	29,67	29,75				
N		31,11	28,29	28,09	28,28	29,38	29,38	30,01	28,94	28,24	25,47	24,68	29,35	30,56	30,76	27,38	26,42	28,00	29,50	29,50	29,67	29,75	29,63			
D		32,13	28,29	28,09	28,28	29,38	29,38	30,01	28,94	28,24	25,47	24,68	29,35	30,56	30,76	27,38	26,42	28,00	29,50	29,50	29,67	29,75	29,63	30,82		
2004		J	34,31										28,43	29,18	29,49	26,50	26,93	26,82	28,27	28,27	28,27	29,67	27,86	30,10		
	F	34,68										28,43	29,18	29,49	26,50	26,93	26,82	28,27	28,27	28,27	29,67	27,86	30,10			
	M	36,74										28,43	29,18	29,49	26,50	26,93	26,82	28,27	28,27	28,27	29,67	27,86	30,10			
	A	36,75										27,45	28,32	28,75	25,75	27,32	26,27	27,59	27,59	27,59	27,83	27,09	29,04			
	M	40,28										27,45	28,32	28,75	25,75	27,32	26,27	27,59	27,59	27,59	27,83	27,09	29,04			
	J	38,03										27,45	28,32	28,75	25,75	27,32	26,27	27,59	27,59	27,59	27,83	27,09	29,04			
	J	40,78										26,49	27,59	28,00	25,00	27,14	25,73	26,91	26,91	26,91	27,00	26,74	28,80			
	A	44,90										26,49	27,59	28,00	25,00	27,14	25,73	26,91	26,91	26,91	27,00	26,74	28,80			
	S	45,94										26,49	27,59	28,00	25,00	27,14	25,73	26,91	26,91	26,91	27,00	26,74	28,80			
	O	53,27										25,51	26,63	27,25	24,25	26,23	25,18	26,23	26,23	26,23	27,00	27,12	28,20			
	N	48,47										25,51	26,63	27,25	24,25	26,23	25,18	26,23	26,23	26,23	27,00	27,12	28,20			
	D	43,18										25,51	26,63	27,25	24,25	26,23	25,18	26,23	26,23	26,23	27,00	27,12	28,20			

ANEXOS V
Séries históricas das variáveis utilizadas
em simulação com RNA

ANEXO 5

SÉRIES HISTÓRICAS DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS EM RNA									
Fonte: 1) EIA - Energy Information Administrator									
2) QuiMax Report (http://www.quimaxlatin.com)									
3) MaxiQuim Assessoria de Mercado									
Período	Preço Internacional ¹	Preços Brasil ²					Nível Operacional (%) ³		
	Petróleo WTI (US\$/barrel)	Nafta US\$/ton	Eteno (1) US\$/ton	PEBD GP, Filme US\$/ton	PEBDL, Filme US\$/ton	Buteno US\$/ton	PEAD, Sopro US\$/ton	PEAD %	PEBDL %
Mar-2002	24.35	194	457	879	850	949	56%	56%	77%
Apr-2002	26.26	226	478	912	895	933	42%	42%	70%
May-2002	27.06	218	501	921	903	952	63%	63%	80%
Jun-2002	25.50	203	484	839	810	889	73%	73%	76%
Jul-2002	26.92	198	456	776	750	828	79%	79%	80%
Aug-2002	28.34	216	440	756	730	812	80%	80%	58%
Sep-2002	29.71	224	433	715	691	765	84%	84%	75%
Oct-2002	28.87	228	406	677	652	719	81%	81%	87%
Nov-2002	26.29	264	465	780	744	817	80%	80%	82%
Dec-2002	29.45	220	492	794	762	812	75%	75%	88%
Jan-2003	32.99	280	494	898	863	920	82%	82%	86%
Feb-2003	35.75	304	543	920	946	975	63%	63%	82%
Mar-2003	33.43	348	617	1000	1078	1117	74%	74%	85%
Apr-2003	28.26	346	739	1077	1162	1170	67%	67%	87%
May-2003	28.14	249	689	1035	1099	1128	64%	64%	79%
Jun-2003	30.66	222	624	1003	1048	1057	74%	74%	84%
Jul-2003	30.70	252	605	944	970	983	78%	78%	88%
Aug-2003	31.59	248	537	906	935	943	79%	79%	87%
Sep-2003	28.25	279	568	966	981	1010	76%	76%	92%
Oct-2003	30.30	261	562	946	963	990	74%	74%	93%
Nov-2003	31.06	273	543	926	915	959	70%	70%	88%
Dec-2003	32.14	292	568	923	911	956	89%	89%	89%
Jan-2004	34.24	313	612	1048	1052	1084	68%	68%	87%
Feb-2004	34.74	322	628	1080	1086	1118	62%	62%	85%
Mar-2004	36.71	314	689	1088	1094	1126	84%	84%	85%
Apr-2004	36.69	330	714	1081	1087	1107	72%	72%	86%
May-2004	40.24	315	656	957	951	1006	78%	78%	84%
Jun-2004	38.00	378	665	1024	1017	1076	83%	83%	80%
Jul-2004	40.79	365	715	1096	1099	1163	87%	87%	89%
Aug-2004	44.90	382	742	1164	1159	1226	81%	81%	93%
Sep-2004	45.90	437	815	1375	1345	1422	83%	83%	88%
Oct-2004	53.24	428	855	1476	1418	1472	83%	83%	88%
Nov-2004	48.44	481	959	1478	1405	1458	78%	78%	84%
Dec-2004	43.20	447	1005	1487	1399	1452	84%	84%	89%
Jan-2005	46.83	392	975	1415	1369	1438	79%	79%	89%
Feb-2005	47.94	413	961	1426	1379	1448	81%	81%	84%
Mar-2005	54.33	403	895	1390	1345	1426	80%	80%	84%
Apr-2005	52.89	506	979	1446	1398	1483	82%	82%	79%
May-2005	49.84	495	992	1434	1387	1471	83%	83%	93%
Jun-2005	56.18	430	970	1376	1331	1412	66%	66%	84%
Jul-2005	58.68	450	938	1369	1324	1404	87%	87%	94%
Aug-2005	64.31	471	895	1362	1317	1397	87%	87%	85%
Sep-2005	65.52	543	943	1468	1420	1506	77%	77%	91%
Oct-2005	62.28	581	997	1606	1553	1647	93%	93%	93%
Nov-2005	58.27	560	1061	1675	1620	1718	61%	61%	88%
Dec-2005	59.41	467	1038	1510	1461	1532	79%	79%	87%
Jan-2006	65.39	502	1049	1480	1431	1486	72%	72%	91%
Feb-2006	61.57	593	1139	1570	1519	1577	64%	64%	81%
Mar-2006	62.94	536	1132	1530	1480	1616	73%	73%	91%
Apr-2006	69.57	534	1068	1537	1442	1575	82%	82%	85%
May-2006	70.84	587	1058	1493	1400	1529	80%	80%	88%
Jun-2006	70.95	584	1058	1448	1338	1472	82%	82%	84%

Nota: Nível Operacional é a relação entre a produção e a capacidade produtiva de um determinado produto