



Estudo de Oportunidade de Implantação de um Pólo Gás-Químico de Fertilizantes Nitrogenados no Brasil

**Eric Makay Katz
Rafael Gomes de Lima
Ricardo Gonzaga de Matos**

Projeto de Final de Curso

Orientadora

Profa. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Dezembro de 2008

Estudo de Oportunidade de Implantação de um Pólo Gás-Químico de Fertilizantes Nitrogenados no Brasil

Eric Makay Katz
Rafael Gomes de Lima
Ricardo Gonzaga de Matos

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

Erika Christina Asthon Nunes Chrisman, Professor D.Sc. – DPO/EQ/UFRJ

Ladimir José de Carvalho, Professor D.Sc. – DPI/EQ/UFRJ

Mário Sérgio Oliveira Castro, Professor – DPO/EQ/UFRJ

Orientado por:

Flávia Chaves Alves, Professor D.Sc. – DEQ/EQ/UFRJ

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Dezembro de 2008

Katz, Eric Makay; Lima, Rafael Gomes de; Matos, Ricardo Gonzaga de.

Estudo de Oportunidade de Implantação de um Pólo Gás-Químico de Fertilizantes Nitrogenados no Brasil / Eric Makay Katz; Rafael Gomes de Lima; Ricardo Gonzaga de Matos. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2008.

x, 107 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2008.

Orientador: Flávia Chaves Alves, Professor, *D.Sc.*

1. Aproveitamento de Gás Natural. 2. Avaliação de Tecnologias para Produção de Amônia e Uréia. 3. Amônia e Uréia. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Flávia Chaves Alves. I. Aproveitamento de Gás Natural para Produção de Fertilizantes Nitrogenados.

AGRADECIMENTOS

A Deus,

Por ter nos possibilitado chegar tão longe.

Aos nossos familiares,

Por terem confiado em nós e nos dado todo o apoio e incentivo necessários para continuarmos seguindo em frente, nos bons e nos maus momentos.

À professora Flávia Chaves Alves,

Pelo convívio durante a vida acadêmica, pelo apoio e confiança na orientação deste projeto.

Aos funcionários da Lurgi e Stamicarbon,

Pelo apoio e boa vontade nas informações prestadas.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

Estudo de Oportunidade de Implantação de um Pólo Gás-Químico de Fertilizantes Nitrogenados no Brasil

Eric Makay Katz
Rafael Gomes de Lima
Ricardo Gonzaga de Matos

Dezembro, 2008

Orientadora: Profa. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

O objetivo deste estudo é o detalhamento e a análise de alternativas de empreendimentos petroquímicos que poderiam vir a ser implementados no país utilizando gás natural como insumo básico. Considera-se, em primeiro lugar, a disponibilidade de matéria-prima e o potencial de geração de produtos petroquímicos derivados. Com base no critério de disponibilidade de insumo e comparando-se projeções de oferta e demanda em um horizonte de dez anos, é possível diagnosticar produtos químicos onde haverá escassez de oferta, sendo selecionados os produtos mais promissores. A escolha dos produtos leva em conta ainda as particularidades nacionais e as perspectivas dos mercados nacional e internacional. Os produtos selecionados (amônia e uréia) são, em seguida, analisados segundo as dimensões técnicas e econômicas, com apresentação dos principais processos e comparação econômica entre eles. A análise das tecnologias de produção desses dois produtos mostra que as melhores, no sentido de maior capacidade de produção e menor consumo de utilidades, são a Lurgi A.G. MegaAmmonia, para a amônia, e a Stamicarbon, para a uréia. Os resultados apontam que, se for possível demonstrar a disponibilidade de gás natural em condições de competitividade em relação ao mercado internacional de fertilizantes nitrogenados, a implantação de uma planta de amônia integrada a uma de uréia utilizando as tecnologias selecionadas é economicamente viável no Brasil.

Índice

Introdução	1
1. Disponibilidade de Matéria-Prima na Petroquímica Brasileira	3
2. Análise dos Produtos Candidatos Derivados do Gás Natural	7
2.1 Produtos Previamente Analisados	9
2.2 Produtos Selecionados – Metanol e Amônia/Uréia	11
2.2.1 Diferenciação dos Produtos Selecionados	11
2.2.2 Mercados de Destino dos Produtos Selecionados	12
3. Mercados da Amônia e da Uréia	18
3.1 Produção e Produtividade Agrícola	18
3.2 Base Conceitual dos Produtos Escolhidos	20
3.3 Histórico dos Processos	22
3.4 Ambiente Organizacional e Competitivo das Empresas de Fertilizantes	24
3.5 Análise do Mercado de Fertilizantes	27
3.5.1 Indústria Internacional	28
3.5.2 Indústria Nacional	31
3.5.2.1 Oferta de Demanda de Fertilizantes	31
3.6 Considerações sobre o Mercado Brasileiro de Fertilizantes	33
4. Tecnologias Disponíveis para Produção de Amônia e de Uréia a partir de Gás Natural	36
4.1 Obtenção de Gás de Síntese	38
4.2 Purificação do Gás de Síntese	51
4.3 Síntese de Amônia	54
4.4 Síntese de Uréia	58
4.5 Considerações	64
5. Análise Econômica	65
5.1 Metodologia e Considerações	65
5.2 Resultados e Discussões	68
5.2.1 Análise de Sensibilidade	80
Conclusões	83
Referências Bibliográficas	84
Anexos	87

Índice de Figuras

Figura 1 – Evolução da Carteira de Projetos da Petrobras para Gás Natural Associado e Não Associado	4
Figura 2 – Árvore dos Produtos Petroquímicos Derivados do Gás Natural e da Nafta	7
Figura 3 – Cadeia Gás-Química Química do C1 – Valor Agregado	8
Figura 4 – Árvore de Aplicações do Metanol no Mercado Brasileiro	14
Figura 5 – Árvore de Aplicações da Amônia e Uréia no Mercado Brasileiro em 2007	16
Figura 6 – Composição dos Fertilizantes	18
Figura 7 – Cadeia Produtiva dos Principais Produtos da Indústria de Fertilizantes	19
Figura 8 – Capacidade Produtiva de Matérias-Primas das Empresas de Fertilizantes em 2008	25
Figura 9 – Capacidade Produtiva de Produtos Intermediários das Empresas de Fertilizantes em 2008	25
Figura 10 - Balanço de Oferta e Demanda de Nitrogênio	33
Figura 11 - Oferta de Fertilizantes no Brasil - 1994 a 2007 (milhões de toneladas)	34
Figura 12 - Brasil: Evolução da Demanda por Fertilizantes	35
Figura 13 - Rotas Usuais para a Produção de Amônia	37
Figura 14 - Diagrama do Processo CRG	44
Figura 15 - Diagrama do Processo <i>Syngas</i> ATR da Haldor Topsoe	45
Figura 16 - Diagrama do Processo <i>Syngas Autothermal, Hower Baker</i>	46
Figura 17 - Diagrama do Processo <i>Advanced SMR Haldor Topsoe</i>	47
Figura 18 - Diagrama de Processo da Reforma a Vapor do Metano, Uhde GmbH	48
Figura 19 - Diagrama do Processo <i>Gas-To-Liquids</i> , Licenciado pela Davy Process Technology	49
Figura 20 - Diagrama de Processo <i>Gas-To-Liquids, Syntroleum</i>	50
Figura 21 – Fluxograma Simplificado de uma Planta de Amônia	54
Figura 22 - Diagrama de Blocos do Processo Lurgi A.G. MegaAmmonia	57
Figura 23 - Fluxograma do Processo Snamprogetti	60
Figura 24 - Fluxograma do Processo Stamicarbon	61
Figura 25 – Fluxograma de produção do processo Toyo	62
Figura 26 – Ponto de Nivelamento das Duas Plantas Integradas	79

Figura 27 – Ponto de Nivelamento da Planta de Uréia Não Integrada à de Amônia	79
Figura 28 – Ponto de Nivelamento da Planta de Amônia Não Integrada à de Uréia	80
Figura 29 - Ponto de Nivelamento da Planta Integrada com Decréscimos e Acréscimos de 10, 20 e 30% sobre o Valor Inicial Estimado	82

Anexos	87
---------------	----

Figura A.' - Produção, Importação e Exportação do Produto*

Figura A.' – Consumo Aparente Interno do Produto* por PIB Brasileiro

Figura A.' - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano do Produto*

* - No **Anexo**, cada Produto é acompanhado pelas três tabelas citadas acima.

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Resumo da Análise dos Possíveis Produtos Fabricados a partir do Gás Natural	10
Tabela 2 – Mercados das Aplicações de Metanol em 2007	13
Tabela 3 – Mercados das Aplicações de Amônia em 2007	15
Tabela 4 – <i>Market Share</i> do Mercado de Fertilizantes Formulados	26
Tabela 5 – Capacidade Instalada de Produção de Amônia e Uréia em 2007	26
Tabela 6 – Dez Maiores Plantas de Amônia no Mundo	28
Tabela 7 – Estatísticas Básicas - Plantas e Projetos de Construção de Plantas de Amônia no Mundo	29
Tabela 8 - Produção Mundial de Amônia	30
Tabela 9 – Capacidades Instaladas de Amônia (t/ano)	31
Tabela 10 - Projeções da Demanda, Importação, Estoques e Produção de Fertilizantes – 2008/09 a 2017/18 (em 1.000 toneladas)	32
Tabela 11 – Vantagens e Desvantagens dos Processos de Produção de Gás de Síntese	43
Tabela 12 – Comparação de Tecnologias de Produção de Amônia	58
Tabela 13 – Comparação de Tecnologias de Produção de Uréia	63
Tabela 14 – Relações de Investimento	67
Tabela 15 – Custos Utilizados	67
Tabela 16 – Valores dos Investimentos	68
Tabela 17 – Análise das Plantas em Conjunto	69
Tabela 18 – Análise da Planta de Amônia sem Integração com Planta de Uréia	71
Tabela 19 – Análise da Planta de Uréia sem Integração com Planta de Amônia	72
Tabela 20 – Análise de Fluxo de Caixa das Duas Plantas Integradas	73
Tabela 21 – Análise de Fluxo de Caixa da Planta de Uréia Não Integrada com a de Amônia	75
Tabela 22 – Análise de Fluxo de Caixa da Planta de Amônia Não Integrada com a de Uréia	77
Anexos	87
Tabela A.1 – PIB Brasileiro e PIB Mundial de 1996 a 2020, com Estimativas a partir de 2008	87

Lista de Siglas e Nomenclaturas

AGE	Assessoria de Gestão Estratégica do Ministério da Agricultura
ATR	Autothermic Reforming (Reforma Autotérmica)
CR	Capital de Giro
COMPERJ	Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CRG	Catalytic Rich Gas
DMT	Dimetiltriptamina
FAFEN	Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados
FAPRI	Food and Agricultural Policy Research Institute
Gasbol	Gasoduto Brasil-Bolívia
GNV	Gás Natural Veicular
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICIS	International Chemical Information Service
IF	Investimento Fixo
IFA	International Fertilizer Industry Association
IFPRI	The International Food Policy Research Institute
ISBL/OSBL	Inside / Outside Battery Limits
LSPA	Levantamento Sistemático da Produção Agrícola
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MAV	Monômero acetato de vinila
MTO	Methane to Olefines
MTP	Methane to Propene
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
PLANGAS	Plano de Antecipação da Produção de Gás
POX	Partial Oxidation (Oxidação Parcial)
PSA	Pressure Swing Absorption
Riopol	Rio Polímeros
SMR	Steam Methane Reforming (Reforma a Vapor do Metano)
Syngas	Gás de Síntese
TIR	Taxa Interna de Retorno
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
UNEP	United Nations Environment Programme
VPL	Valor Presente Líquido

Introdução

Este Projeto de Final de Curso tem como objetivo principal analisar a possibilidade de substituição de importações de produtos químicos que poderiam ser fabricados a partir do gás natural.

Para tanto será discutida, primeiramente, a oferta da matéria-prima, o gás natural. Em seguida, foram traçadas linhas de tendência de oferta e demanda para um grupo de produtos (Amônia, Fosfato de Monoamônio, Metanol, Nitrato de Amônio, PEAD, PEBD, PEBDL, PET, Polipropileno, PVC, Sulfato de Amônio e Uréia) para os quais existem tecnologias que utilizam o gás natural como matéria-prima.

Uma vez determinados aqueles produtos que não terão a demanda atendida no horizonte estipulado (doze anos), passou-se a escolha de apenas dois produtos para serem analisados.

Após considerações, foi determinado que o projeto será restrito à análise da Amônia e da Uréia, para fabricação de fertilizantes.

Em seguida foram expostas as principais tecnologias para a produção de Amônia e de Uréia, a partir do gás de síntese, obtido do gás natural. A partir de uma análise, foi escolhida uma tecnologia para cada produto.

Determinadas as tecnologias, utilizou-se coeficientes técnicos para se realizar uma análise econômica de plantas de Amônia e de Uréia, com capacidades e coeficientes previamente especificados. Concluiu-se a viabilidade do projeto com um estudo da sensibilidade de variáveis que poderiam influenciar a viabilidade do projeto.

Contudo, este Projeto parte de uma premissa básica: haver disponibilidade de gás natural em um futuro próximo. Por isso, há necessidade de se fazer alguns comentários sobre a oferta desta matéria-prima no País.

A recente crise do gás natural boliviano, que ocorreu devido à nacionalização de reservas petrolíferas e à estatização de fábricas na Bolívia, levou ao drástico corte em investimentos de expansão da produção, acompanhada de aumento do preço do gás natural, mostrando que as estratégias do governo e da Petrobras para garantia do suprimento de gás fracassaram, independentemente da discussão sobre a existência de outras estratégias possíveis, deixando as distribuidoras e os consumidores bastante temerosos.

Esse episódio contribuiu para criar incertezas quanto à segurança de abastecimento e, mais recentemente, quanto à sustentabilidade da competitividade do gás natural frente aos insumos concorrentes, representando um infortúnio à indústria que depende do gás natural.

Em 2004 e no ano seguinte, o Brasil ficou completamente refém das incertezas na Bolívia, devido ao planejamento adotado, e ao fato de ter sido impossível negociar com o governo daquele país. Porém, o governo e a Petrobras deixavam transparecer à população que não havia necessidade, nem interesse, em negociar a compra de um adicional de gás, já que as novas descobertas de Santos poderiam ser suficientes para atender à expansão da demanda.

Em meio a toda esta tensão, a Petrobras anunciou em novembro de 2007 a descoberta de Tupi, um campo gigante de óleo e gás, localizado na bacia de Santos, numa área geológica chamada de pré-sal.

A cerca de 7 quilômetros da superfície marinha e com capacidade estimada de até 8 bilhões de barris de petróleo, esta descoberta pode fazer com que o Brasil saia da 24ª e assuma a 8ª ou 9ª colocação no ranking dos países com as maiores reservas de óleo e gás no mundo. Tornando-se, assim, um país de proporções exportadoras e não mais apenas um país que estava conquistando sua auto-suficiência.

Porém, como já mencionado, devido à profundidade e à grande complexidade na perfuração e extração nesses novos campos que têm sido descobertos, torna-se necessário a intensificação nas pesquisas para inovações tecnológicas. Mesmo contradizendo algumas previsões a respeito da duração das reservas petrolíferas do mundo, todos os analistas estão de acordo que as novas descobertas implicam um alto custo de exploração, que será refletido num crescente preço do petróleo e gás a longo prazo.

1. Disponibilidade de Matéria-Prima na Petroquímica Brasileira

A disponibilidade de matéria-prima em quantidade, qualidade e preço constitui uma variável crucial na petroquímica, influenciando de forma decisiva na viabilidade e competitividade dos empreendimentos. Os produtos são, em geral, *commodities* e a margem de contribuição, comparando-se o preço do produto e o custo da matéria-prima consumida, é muito pequena.

A petroquímica brasileira foi construída de forma planejada a partir dos anos de 1970, dentro da lógica de substituição de importações, baseada em nafta importada. Mesmo com a produção crescente de petróleo nacional, a disponibilidade de nafta continua sendo um problema, dependendo essencialmente de importações. A nafta é um produto caro e que se tornou, com o advento da exploração e utilização crescente do gás natural, uma fonte menos competitiva de matéria-prima para a boa parte dos produtos petroquímicos. Alguns produtos não podem ser obtidos a partir do gás natural e continuam dependendo da nafta ou de outras fontes. Por conta de sua dependência de nafta, a disponibilidade de matéria-prima tem sido sempre vista como o entrave maior para o crescimento da indústria petroquímica no Brasil e para sua competitividade internacional. Por isso, qualquer empreendimento petroquímico no Brasil tem como ponto de partida essa pergunta crucial: existe fonte de matéria-prima que garanta a viabilidade do projeto?

Cabe examinar, antes de estabelecer as condições de oferta de matéria-prima, as possíveis tendências na busca de solução desse obstáculo no âmbito da petroquímica brasileira de forma geral. Neste sentido, a **Figura 1** apresenta a evolução da carteira de projetos para Gás Natural da Petrobras. É possível observar a tendência de aumento da oferta do Gás Natural. Além dos projetos mostrados, será instalado, na baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, o Terminal Flexível de GNL, que deverá ofertar mais 14 MMm³/dia, estimado para entrar em operação em 2010.

No Brasil, a utilização do GN como fonte industrial de matéria-prima, teve início em 1971, com a partida da Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados (FAFEN-BA), localizada em Camaçari e pertencente ao grupo Petrobras. O GN utilizado provinha dos campos de Sergipe e da Bahia. Em 1982, teve início a operação da unidade de Laranjeiras, Sergipe. Atualmente, estas unidades produzem um total de 900.000 t/ano de amônia, 1 milhão t/ano de uréia, 36.000 t/ano de ácido nítrico e 150.000 t/ano de gás carbônico (PETROBRAS, 2007).

Milhões m³/d

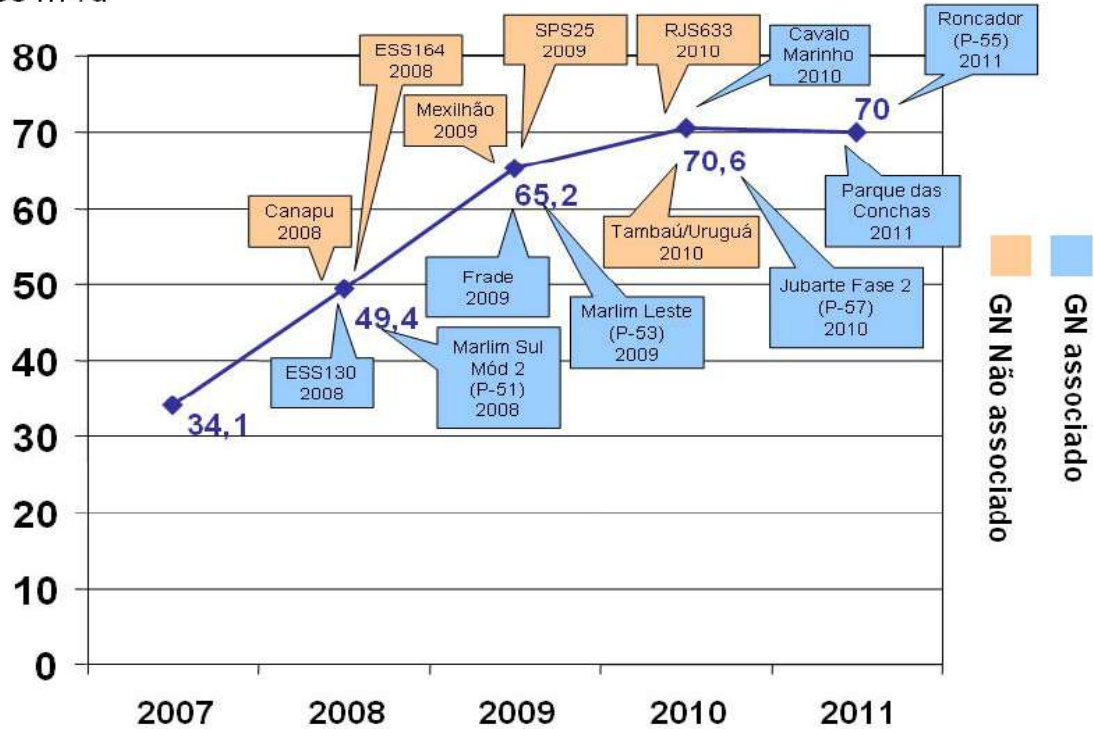


Figura 1 – Evolução da Carteira de Projetos da Petrobras para Gás Natural Associado e Não Associado

Fonte: Petrobras, 2008.

A mais recente instalação produtiva na petroquímica utilizando GN como matéria-prima é a planta da Rio Polímeros (RioPol), que utiliza as frações de etano e propano, para produzir etileno e propeno. Esta planta tem capacidade produtiva nominal igual a 520.000 t/ano de eteno e 75.000 t/ano de propeno (RIOPOL, 2008).

A solução, à primeira vista, seria explorar fontes de gás natural, brasileiro ou boliviano. Existiu um projeto envolvendo a Braskem e Petrobras para um complexo petroquímico na fronteira com a Bolívia utilizando gás boliviano, no âmbito do Gasbol. Incertezas políticas colocaram um ponto final na concretização do empreendimento (PETROBRAS, 2008).

Outra solução na busca por matérias-primas foi a chamada Refinaria Petroquímica utilizando o petróleo pesado brasileiro. Trata-se de um empreendimento de grande porte, que está sendo implantado em Itaboraí, RJ. A empreitada envolve o Grupo Ultra e a Petrobras. A refinaria produzirá um conjunto de matérias-primas petroquímicas, sendo cerca de 1,3 milhões t/ano de eteno. Isso propiciará diversos investimentos de

segunda e de terceira geração, constituindo assim um novo pólo petroquímico de porte semelhante à Camaçari. Os investimentos previstos são da ordem de US\$ 6,3 bilhões de dólares, incluindo as unidades de produtos básicos (1ª geração) e as unidades de 2ª geração.

Países como os Estados Unidos, Canadá, Austrália, Nova Zelândia, Kuwait e Qatar utilizam o gás natural como insumo e os principais produtos obtidos são: amônia, metanol e eteno. Na Austrália, por exemplo, cerca de 90% do metanol produzido é proveniente do gás natural (COOGEE, 2005). Em Trinidad e Tobago, toda a produção de metanol e amônia, também, oriunda do gás natural (GEROSA, 2007).

As soluções acima podem ser consideradas no âmbito das tecnologias disponíveis e testadas. Explorando possíveis inovações tecnológicas, outras soluções podem ser buscadas, por exemplo, para um melhor aproveitamento do gás natural. Mesmo com a grande disponibilidade de gás natural no mundo, como é o caso hoje em regiões como Nigéria, Irã, Qatar, Arábia Saudita e outras, apenas a fração etano tem sido utilizada como matéria-prima petroquímica. Essa fração corresponde a cerca de 10% do gás.

A parte principal do gás natural e pouco utilizada para a petroquímica (apenas para amônia e derivados do gás de síntese, como o metanol) é o metano, uma molécula pouco reativa. Na fronteira tecnológica, tem sido desenvolvida a conversão de metano em olefinas, particularmente eteno e propeno. As alternativas MTO (*methane to olefines*, conversão do gás natural, inclusive da fração metano em eteno e outras olefinas, passando pelo metanol) e MTP (*methane to propene*, conversão do gás natural, inclusive da fração metano em propeno) encontram-se ainda em estágio de plantas piloto (GEROSA, 2007).

Tendo em vista a importância da disponibilidade de matéria-prima para o crescimento da petroquímica brasileira, a possibilidade de examinar qualquer empreendimento passa, em primeiro lugar, pela demonstração clara da disponibilidade de matéria-prima em quantidade e preço adequados. Também por isso, no **Item 5. Análise Econômica**, será feita uma análise para a sensibilidade do preço do gás natural.

Em 2007, as reservas provadas de gás natural chegaram a 365 bilhões de m³, representando cerca de 62% das reservas totais desse gás no território brasileiro (584,5 bilhões de m³). De 1998 a 2007, as reservas provadas brasileiras apresentaram uma taxa média de crescimento de 5,5% ao ano. Porém, entre 2006 e 2007 o volume decresceu 0,7% (ANP, 2008).

Assim como o petróleo, a maior parte das reservas provadas de gás natural no Brasil encontra-se em reservatórios marítimos (81,3%). O Rio de Janeiro, por exemplo, que é o estado com maior participação nas reservas, apresentou em 2007 somente reservatórios *offshore*, concentrando 46% do volume nacional (ANP, 2008).

Após ter apresentado queda em 2006, o volume de queimas e perdas de gás natural cresceu 5,2% no ano seguinte. Do volume total de gás produzido, 1,9 bilhão de m³ (10,7%) foi queimado e perdido e 3,5 bilhões de m³ (19,3%) foram reinjetados. Nos campos com gás associado ao petróleo, parte do gás natural produzido que não for reinjetado no poço (visando aumentar a recuperação do petróleo) nem tiver mercado consumidor próximo, acaba sendo queimado (ANP, 2003).

Ainda em 2007, a produção de gás natural não-associado aumentou 14,9% (ANP, 2008). Campos contendo gás não-associado apresentam toda a infra-estrutura de produção destinada à sua extração, o que minimiza a queima e reduz as perdas.

Com o intuito de assegurar a oferta de gás natural afastando incerteza na disponibilidade do produto para a geração de energia termoelétrica, o governo federal juntamente com a Petrobras lançou, em 2007, o Plano de Antecipação da Produção de Gás (Plangas).

O Plangas é constituído de projetos de exploração e produção, processamento e infra-estrutura de transporte de gás natural no Sul-Sudeste do país. Estes projetos, se consolidados, podem garantir ao Sul e Sudeste 39,2 milhões de metros cúbicos por dia a mais (Petrobras, 2007). Os projetos alvos, cuja implantação encontra-se em ritmo acelerado, estão concentrados na região Sudeste. Nota-se o realce em projetos na Bacia de Santos e em campos de gás não associado a serem explorados. Fato, devido principalmente à proximidade destes campos ao maior centro consumidor do País.

Assim, tomando como base o aumento da produção e as recentes descobertas da Petrobras de campos de óleo e gás, pode-se dizer que haverá disponibilidade de gás natural para ser utilizado como matéria-prima para um novo empreendimento que pretenda se instalar em território nacional, especialmente da região Sudeste do País.

2. Análise dos Produtos Candidatos Derivados do Gás Natural

A **Figura 2** apresenta a linha de derivação dos produtos petroquímicos a partir de gás natural e nafta. Para efeito da identificação de oportunidades, o ponto inicial que deve ser analisado é a geração de petroquímicos básicos ou produtos de 1ª geração. Uma variedade de petroquímicos intermediários (2ª geração) poderia ser sugerida a partir da disponibilidade desses petroquímicos básicos. Assim, deve ser examinado o potencial para produção de hidrogênio, gás de síntese ($\text{CO} + \text{H}_2$), eteno e propeno.

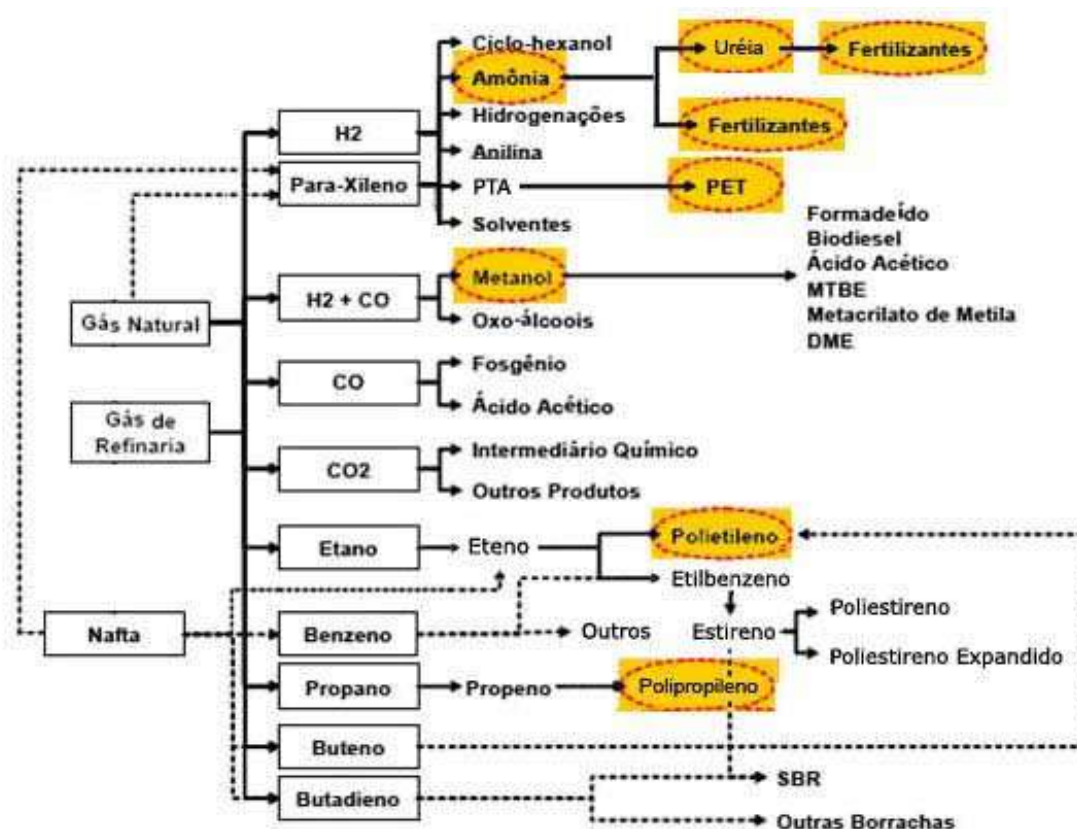


Figura 2 – Árvore dos Produtos Petroquímicos Derivados do Gás Natural e da Nafta

Fonte: Elaboração Própria a partir de ABIQUIM, 2007.

Como derivados básicos do gás natural serão considerados a amônia e a uréia (consumo do hidrogênio produzido), o metanol (consumo do gás de síntese produzido), os derivados do eteno, (consumo das frações C₂) e os derivados do propeno (consumo das frações C₃).

Amônia, metanol e eteno são os produtos básicos mais importantes em termos de volume produzido a partir do gás natural na indústria petroquímica mundial (PENSA/USP, 2002).

Quanto à geração de riqueza, a adição é muito maior quando o produto é transformado. A partir da amônia e da uréia, a produção de fertilizantes chega a triplicar o valor original do gás. A produção de hidrogênio e metanol, matérias-primas para indústria química e petroquímica, agrega entre três e cinco vezes o valor do energético (DUTRA, 2007). O aproveitamento de etano, propano, butano e outros pode multiplicar por sete esse valor (**Figura 3**).

A disponibilidade ainda limitada explica porque o uso como matéria-prima é ainda restrito a menos de um décimo da média de 44 milhões de m³ consumidos por dia no País, apesar de todas as vantagens (DUTRA, 2007).

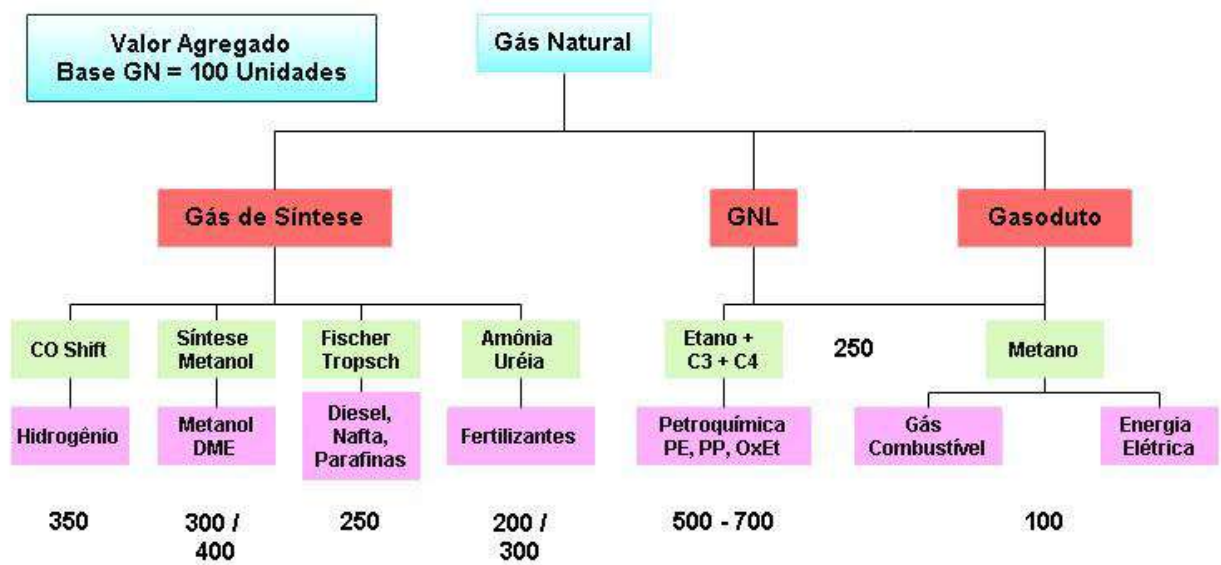


Figura 3 – Cadeia Gás-Química Química do C1 – Valor Agregado
 Fonte: Gas Energy, 2007.

2.1 Produtos Previamente Analisados

A seguir, serão resumidos os resultados das projeções para consumo aparente¹ e para a capacidade instalada (**Tabela 1**), apresentadas detalhadamente no **Anexo** para cada um dos possíveis produtos produzidos a partir do gás natural. Cabe ressaltar que as projeções foram realizadas através de regressões lineares, a partir dos dados de produção, importação e exportação de cada produto contidos nos Anuários da ABIQUIM entre 1996 e 2008. Foram consideradas as possíveis ampliações das plantas existentes e novas instalações no País.

Para cada produto foram confeccionados gráficos de Consumo Interno Aparente contra PIB e de Exportação contra PIB Mundial, desde 1996 até 2006. Os dados de PIB brasileiro e mundial estão na **Tabela A.1**. As projeções do PIB foram feitas pelo IBGE, no caso de PIB brasileiro e Banco Mundial, no caso do PIB mundial.

Adicionalmente, foram feitos gráficos de produção, importação e exportação por ano e de consumo interno aparente e capacidade nacional instalada por ano, com estimativas até 2020, considerando os projetos de expansão já planejados. As projeções de consumo interno aparente foram feitas criando-se uma linha de tendência a partir de seus valores de 1996 a 2006, retirando-se os pontos que estavam discrepantes com a linha de tendência.

Este procedimento foi realizado de forma a comparar a oferta e demanda a longo prazo e selecionar os produtos que apresentam demanda não atendida.

A partir dos dados foi estimado o crescimento até 2020 e com isto analisou-se se deverá haver falta do produto especificado.

Caso o valor da projeção da capacidade instalada não tenha conseguido atingir o montante do consumo aparente projetado, de um produto especificado, este foi considerado candidato a ser analisado.

¹ Consumo Aparente = Produção + Importação - Exportação

Tabela 1 – Resumo da Análise dos Possíveis Produtos Fabricados a partir do Gás Natural

Produto	Demanda Atendida (2017-2020)	Detalhes	Comentários
Amônia	Não	Figuras A.1, A.2 e A.3	Não existem investimentos planejados
Fosfato de Monoamônio	Não	Figuras A.4, A.5 e A.6	Investimento planejado da Samaritá
Metanol	Não	Figuras A.7, A.8 e A.9	Investimento planejado da Prosint
Nitrato de Amônio	Não	Figuras A.10, A.11 e A.12	Não existem investimentos planejados
PEAD	Sim	Figuras A.13, A.14 e A.15	Comperj supre a demanda a partir de sua entrada em operação
PEBD	Sim	Figuras A.16, A.17 e A.18	Comperj supre a demanda a partir de sua entrada em operação
PEBDL	Sim	Figuras A.19, A.20 e A.21	Comperj supre a demanda a partir de sua entrada em operação
PET	Sim	Figuras A.22, A.23, e A.24	Comperj supre a demanda a partir de sua entrada em operação
Polipropileno	Sim	Figuras A.25, A.26 e A.27	Comperj supre a demanda a partir de sua entrada em operação
PVC	Sim	Figuras A.28, A.29 e A.30	Investimento planejado da Braskem e da Solvay Indupa
Sulfato de Amônio	Não	Figuras A.31, A.32 e A.33	Investimento planejado da Unigel
Uréia	Não	Figuras A.34, A.35 e A.36	Não existem investimentos planejados

Fonte: Elaboração Própria a Partir de ABIQUIM, 1996-2008.

Como foi possível observar, os maiores deficits ocorrem com a Amônia, seus derivados (Fosfato de Monoamônio, Nitrato de Amônio, Sulfato de Amônio e Uréia) e com o Metanol.

Todavia, apenas um derivado da Amônia foi escolhido para representar a família de produtos. O escolhido foi a Uréia, por ser o principal derivado. Além da Amônia/Uréia o Metanol também foi escolhido para ser previamente analisado.

2.2 Produtos Selecionados – Metanol e Amônia/Uréia

Para cada produto selecionado será discutido o nível de diferenciação dos produtos, desenvolvida uma análise que levará em conta, a descrição das tendências de evolução do mercado e principais aplicações. Serão identificados os produtores internacionais e nacionais e suas capacidades instaladas, o que permitirá avaliar as escalas praticadas na indústria e, por aproximação, os níveis de concentração de mercado. A identificação dos projetos anunciados, principalmente no mercado internacional, permite reforçar o estudo das escalas econômicas praticadas.

2.2.1 Diferenciação dos Produtos Selecionados

Metanol: é considerado uma *commodity* química. Em seus principais usos a especificação é química e o produto não está em competição direta com outros produtos químicos nesses usos. Isso reduz enormemente o espaço para diferenciação. A competição é baseada em custo. Alguns usos potenciais do metanol tais como os usos energéticos têm como referência os preços dos combustíveis, o que reforça a dimensão custo na competitividade. Isso tem levado a duas tendências fortes na indústria: a utilização de fontes de gás natural de baixo valor (custo de oportunidade baixo) e o aumento de escala das plantas.

Amônia/uréia: também é considerada uma *commodity*. O espaço para diferenciação é muito pequeno. A utilização direta como fertilizante abre algumas oportunidades nesse sentido, mas a competição continua fortemente baseada em custos. A existência de fontes favoráveis de matérias-primas e a escala das plantas são igualmente os fatores de competitividade mais importantes.

2.2.2 Mercados de Destino dos Produtos Selecionados

Apresentamos a seguir os mercados de destino dos produtos escolhidos como base de análise. Para identificação das condições de mercado é importante perceber a inserção na cadeia das diversas gerações de produtos petroquímicos. Os produtos de 1ª geração podem estar na origem de diferentes produtos de 2ª geração que, a seu turno, se dirigirão a diferentes mercados finais. Em outras palavras, na consideração das estimativas de mercado, as demandas são derivadas dos usos finais. Isso quer dizer que idealmente os mercados analisados são os finais (o mais perto possível do bem final consumido) dos quais derivam as demandas dos petroquímicos de 2ª geração e, a partir daí, as dos petroquímicos básicos.

Metanol

No mercado internacional, cerca de 35% do metanol é usado para produzir formaldeído, 27% para MTBE e 9% para ácido acético. Existe a tendência de queda no uso para MTBE em função das restrições ambientais na Califórnia e outros estados americanos ao uso desse produto como aditivo da gasolina. Como essa restrição não se verifica no leste da Europa e na Ásia, globalmente a queda do consumo de metanol para MTBE pode não se verificar. O uso como intermediário para a produção de Dimetiltereftalato (DMT) é declinante em função da preferência pela rota via ácido tereftálico (PTA) para a produção de poliéster. (BNDES, 2003).

O formaldeído, principal mercado do metanol, destina-se principalmente à produção de resinas fenólicas que consomem cerca de 66% do produto. As resinas fenólicas são usadas predominantemente em produtos de madeira como adesivos.

Quanto ao ácido acético, trata-se de um produto químico intermediário e solvente com variadas aplicações industriais. O principal mercado, cerca de 34% do mercado mundial, é a produção de monômero Acetato de Vinila (MAV), o qual é usado em tintas, adesivos, têxteis, papéis, filmes e gomas de mascar. Muitas plantas de MAV são integradas com a produção de ácido acético.

A produção de PTA é o segundo mercado consumidor, correspondendo a cerca de 18% da produção de ácido acético. Trata-se de um segmento em crescimento em razão da forte demanda pelas embalagens PET. Há centenas de outras aplicações, de fragrâncias a alimentos, de corantes a detergente. Deve ser sublinhado que a produção de ácido acético pode ser feita por diversas rotas tecnológicas. Apesar de

dominante, a produção a partir do metanol (sintetizado pela carbonilação do metanol), corresponde a não mais que 65% da produção mundial.

Alguns novos usos do metanol podem vir a ter importância no futuro, considerando que a tecnologia tem se tornado mais competitiva. Aumentos de escala das plantas podem vir a reduzir o custo de produção e tornar o metanol um produto importante na valorização do gás natural. Entre esses usos citam-se a produção de DME (dimetil éter), a produção de hidrogênio, a produção de olefinas (o chamado MTO, *methanol to olefins*), o próprio uso como combustível e a produção de biodiesel. O desenvolvimento de células a combustível a metanol para automóveis, a geração estacionária e as aplicações em equipamentos eletrônicos portáteis poderiam representar um grande aumento no consumo de metanol no final desta década.

Em particular, no caso brasileiro, o potencial do consumo do metanol na produção de biodiesel deve ser avaliado com atenção. Segundo o Programa Nacional de Biodiesel, a mistura de 2% de biodiesel no diesel, consumirá cerca de 1 bilhão de litros de biodiesel por ano. Até 2013, o percentual de biodiesel passará a 5%, elevando o consumo para 2,4 bilhões de litros anuais. Na produção de biodiesel, a reação de esterificação pode ser feita com metanol, consumindo 12% em massa de metanol. Com base nesse consumo existiria um mercado potencial de cerca de 200.000 t/ano de metanol a ser conquistado pelo eventual produtor de metanol. Chega-se a esse valor considerando o consumo de cerca de 14 kg de metanol/barril de biodiesel.

Como pode ser observado (**Tabela 2**), a produção de formaldeído representa cerca de 60% do mercado e é a utilização dominante. A produção de MTBE não deve crescer porque no Brasil utiliza-se o etanol como aditivo nos combustíveis. A produção de ácido acético não se faz a partir de metanol no Brasil, em parte devido à própria insuficiência da oferta interna de metanol. A **Tabela 2** apresenta os destinos do metanol no mercado brasileiro.

Tabela 2 – Mercados das Aplicações de Metanol em 2007

Aplicações	%
Formaldeído	61,8
MTBE	4,8
Dimetiltereftalato	6,4
Metacrilato de Metila	3,6
Outras	23,8

Fonte: ABIQUIM, 2008.

Tratando-se de um petroquímico básico, as diversas aplicações identificadas desdobram-se em diversos outros mercados que influenciam a demanda final de metanol. A **Figura 4** apresenta a árvore das aplicações do metanol no mercado brasileiro, identificando os mercados finais responsáveis pelo consumo do produto.

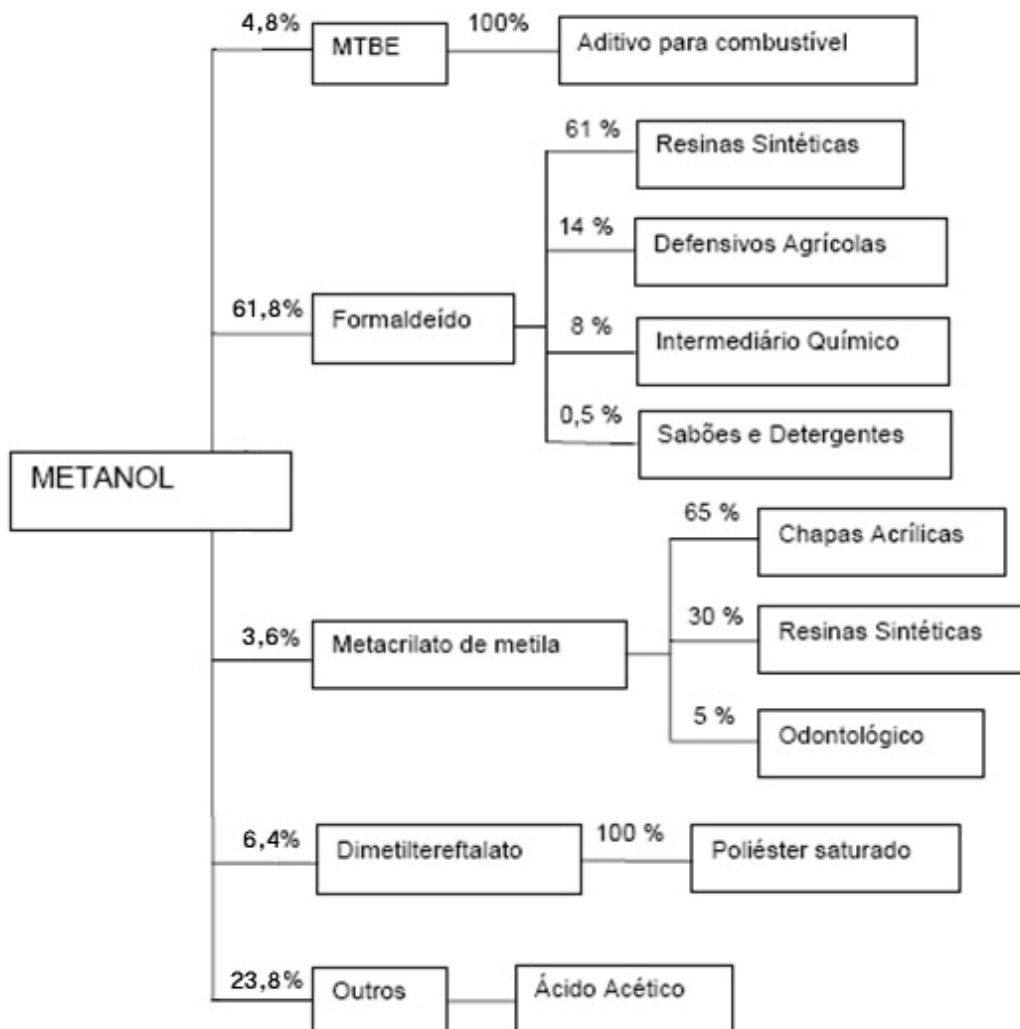


Figura 4 – Árvore de Aplicações do Metanol no Mercado Brasileiro

Fonte: Elaboração Própria a partir de ABIQUIM, 2008.

Amônia/Uréia

O uso principal da amônia é como fonte de nitrogênio em fertilizantes, podendo ser aplicada diretamente ou na forma de compostos nitrogenados como uréia, nitrato de amônio, fosfato de amônio e sulfato de amônio. A amônia tem também aplicações como intermediário químico: na produção de hexametileno diamina, na produção de acrilonitrila e de caprolactama, que são matérias-primas para o *nylon*.

No mercado internacional, os principais usos da amônia são na forma de uréia (20%), fertilizante em uso direto (20%) e fosfato de amônio (18%). O principal uso da uréia (cerca de 90%) é como fertilizante. Da mesma forma, o fosfato de amônio tem também o mercado de fertilizantes como sua aplicação quase única. Outros usos importantes são: ácido nítrico (11%) e nitrato de amônio (7%). Seguem outros usos químicos (5%) e sulfato de amônio (4%). Em muitos desses produtos, o uso como fertilizante é a principal aplicação final. Uma série de usos diversos, individualmente pequenos, atinge 13%.

A **Tabela 3** apresenta os usos no mercado brasileiro, corroborando o predomínio do uso como fertilizante que atinge cerca de 60% do mercado brasileiro de amônia.

Tabela 3 – Mercados das Aplicações de Amônia em 2007

Aplicações	%
Fertilizantes	60,2
Processo Químico	35,5
Intermediário Químico	4,3

Fonte: ABIQUIM, 2008.

As diversas aplicações identificadas para amônia/uréia podem ser melhor visualizadas por meio da **Figura 5** na qual são identificados os diversos mercados em que se desdobram os usos de amônia/uréia, compondo a demanda final de amônia/uréia.

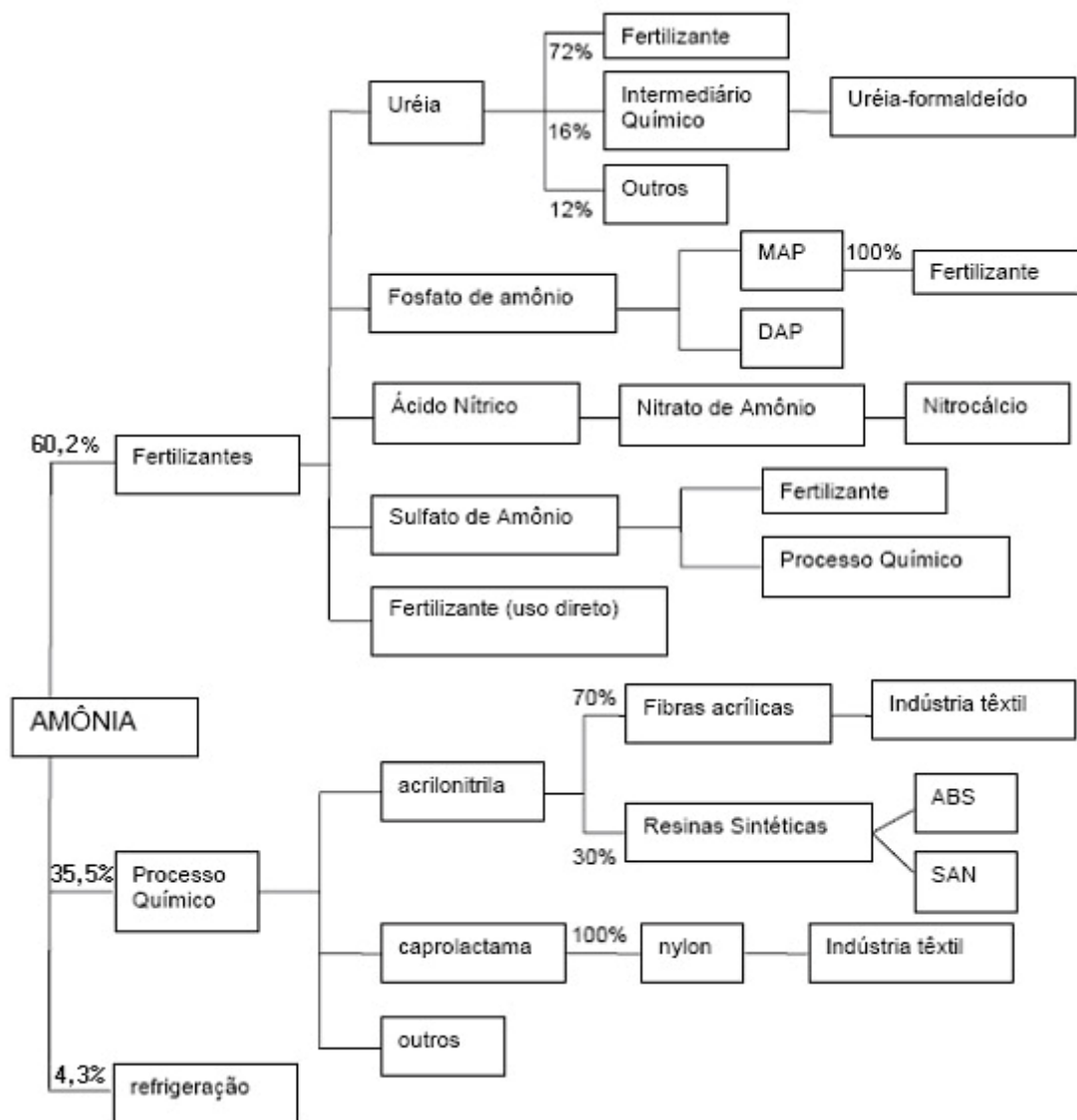


Figura 5 – Árvore de Aplicações da Amônia e Uréia no Mercado Brasileiro em 2007

Fonte: Elaboração Própria a partir de ABIQUIM, 2008.

Considerações

Frente à alta do dólar devido à crise econômica e à alta do preço dos alimentos, além do fato que cerca de 70% dos fertilizantes nitrogenados são importados, decidiu-se que a dependência externa à Amônia e à Uréia é mais preocupante que ao Metanol.

Compondo uma visão panorâmica desta indústria, a produção de amônia é o principal ponto de estrangulamento da cadeia de produção de fertilizantes, como pode ser visualizado na **Figura 5**. Dentro do foco de interesse – o consumo adicional de gás natural devido às possibilidades de evolução da indústria brasileira de fertilizantes – será avaliada, além da produção de amônia, a produção de uréia.

Será enfatizada a indústria nacional de fertilizantes e sua possibilidade de desenvolvimento, a partir do consumo de gás natural, em um horizonte de 10 anos.

A importância de avaliar a indústria de fertilizantes é bem entendida por se tratar de um segmento-chave de produção para a agroindústria, um setor vital na economia do País.

Ademais, reforça a importância da análise o fato de o País ser um grande importador destes produtos. Neste sentido, além de avaliar as possibilidades de expansão do consumo de gás natural nesta indústria, também esta avaliação permite antever possíveis economias de divisas devido à redução da importação dos intermediários de fertilizantes, como poderá ser visto a seguir.

3. Mercados da Amônia e da Uréia

3.1 Produção e Produtividade Agrícola

As projeções realizadas para determinar o desempenho do agronegócio nacional até o ano de 2017 indicam um aumento da área plantada, da produção e da produtividade. Contudo, há fatores críticos que afetam a concorrência das *commodities* brasileiras no mercado internacional, e dentre os mais importantes, os fertilizantes aparecem como um dos insumos que afetarão os custos de produção agrícola.

As projeções para o Brasil da produção, área plantada, exportação, importação e consumo de algodão, arroz, feijão, milho, trigo, grãos de soja, café e açúcar, para o período de 2007/08 a 2017/18 foram realizadas pelo Ministério da Agricultura (MAPA), com base em informações do *Food and Agricultural Policy Research Institute* (FAPRI), da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) do IBGE.

Convém registrar que, em média, o trabalho foi realizado com séries de 10 anos para cada produto, sendo, portanto, um número reduzido de informações para um horizonte de previsão de 10 anos. Sabe-se que à medida que se amplia o intervalo das projeções, elas se tornam menos precisas. Desta forma, as informações devem ser observadas com cuidado.

A tendência do agronegócio nacional é crescer. Com o aumento da população, da renda e da utilização de combustíveis renováveis de origem vegetal, a demanda por produtos agrícolas torna-se maior. Países como China e Índia terão de enfrentar dificuldades para atender às demandas alimentares de suas gigantescas populações, devido à escassez de áreas agricultáveis.

Os resultados das estimativas para os nove produtos denotam que o maior salto será na área de cana-de-açúcar destinada ao etanol. A sua produção deve passar dos 21,3 bilhões de litros atuais para 42 bilhões em 2017/18 (MAPA, 2008). Especialmente para soja que, se confirmada as políticas de utilização do biodiesel, deve apresentar uma elevada produção na próxima década.

Os números para o milho deverão alcançar a casa de 64,1 milhões de toneladas em 2017/18. Esse nível, como pode ser observado, é aproximadamente 14% superior que o obtido em 2007/08. A soja deverá chegar a um patamar de 75,4 milhões de toneladas em um intervalo de 10 anos (MAPA/AGE, 2008).

Embora existam inúmeros fatores que possam explicar o crescimento do agronegócio nacional, dois são mais decisivos: a pressão dos biocombustíveis e os preços favoráveis no intervalo estudado. As projeções acusam aumentos da ordem de 60% nas exportações de milho o que corresponderia a passar de 7,5 milhões de toneladas exportadas em 2007/08 para 12 milhões em 2017/18. Muito expressivos são também os acréscimos do açúcar, 59,9% e de 222,9% no etanol (MAPA, 2008).

As projeções da área cultivada demonstram que o aumento da produtividade será o fator fundamental para os acréscimos da produção nos próximos 10 anos. O aumento total projetado de área das principais lavouras é de 17,6 %. O incremento de área das oito principais culturas deverá pular dos 53 milhões de hectares atuais para 62,2 milhões de hectares em 2017/18 (MAPA, 2008).

3.2 Base Conceitual dos Produtos Escolhidos

Os fertilizantes são substâncias que se aplicam ao solo e/ou à parte aérea da planta com o objetivo de melhorar a sua nutrição e obter maiores e/ou melhores produções. Os fertilizantes compreendem os adubos que são utilizados diretamente nas plantas e os corretivos que são utilizados no solo e, por conseguinte, indiretamente nas plantas. A figura abaixo mostra a composição dos adubos e corretivos.

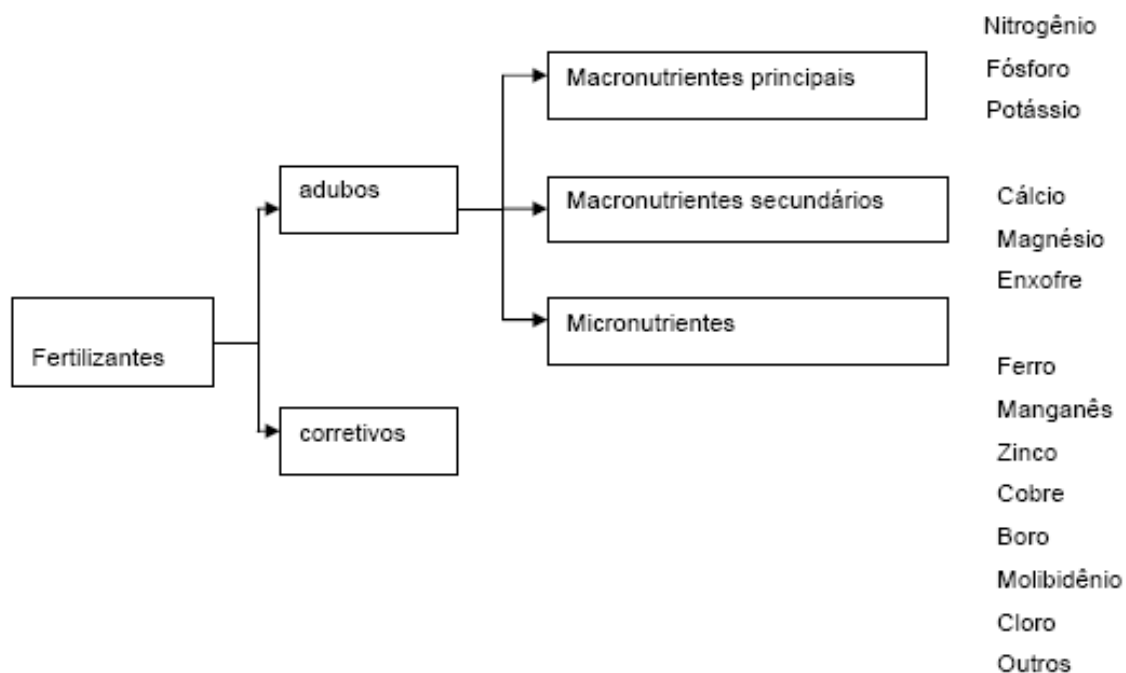


Figura 6 – Composição dos Fertilizantes

Fonte: Elaboração Própria a partir de ANDA, 2008.

A cadeia produtiva de fertilizantes (**Figura 7**) é composta pelo segmento extrativo mineral que fornece a rocha fosfática, o enxofre, o gás natural e as rochas potássicas, pelo segmento que produz as matérias-primas intermediárias como o ácido sulfúrico, o ácido fosfórico e a amônia, pelo segmento produtor de fertilizantes simples e pelo segmento produtor de fertilizantes mistos e granulados complexos (NPK).

As matérias-primas podem ser obtidas por meio da indústria petroquímica (nitrogenados) ou de atividades de extração mineral (fosfatados e potássicos). As fontes destes elementos químicos são obtidas na natureza, para a posterior extração dos ácidos, com os quais pode-se gerar uma ampla variedade de produtos, dentre eles, produtos que contenham nitrogênio, fósforo e potássio, que fornecem as quantidades necessárias de cada elemento para compor diferentes formulações de fertilizantes.

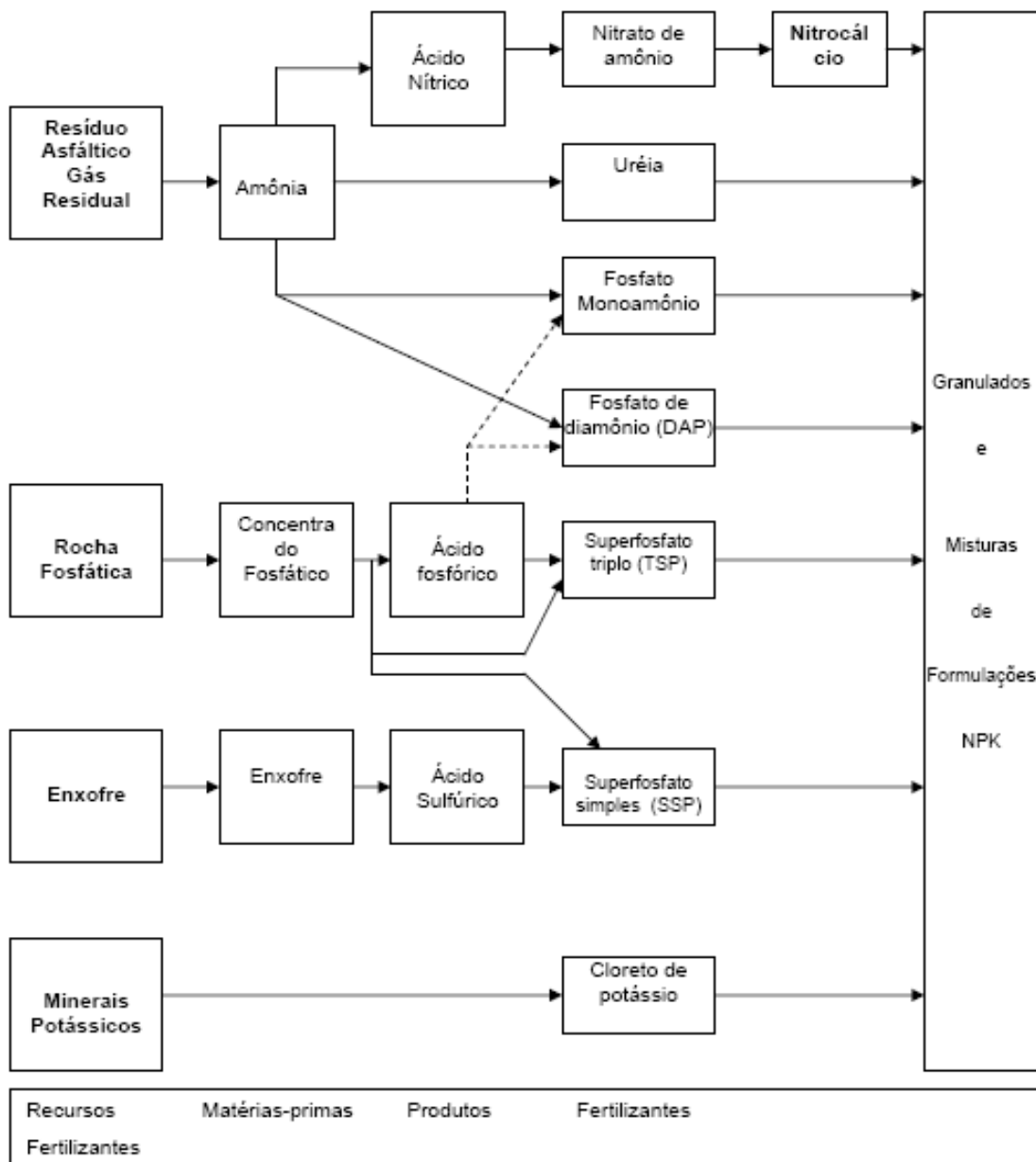


Figura 7 – Cadeia Produtiva dos Principais Produtos da Indústria de Fertilizantes

Fonte: PENSA/USP, 2002.

Segundo Taglialegna, Paes Leme e Sousa (2001), citado por PENSA/USP (2002), a indústria de fertilizantes pode ser dividida em três atividades distintas: produção de matérias-primas básicas e intermediárias, de fertilizantes básicos e misturas. Na primeira atividade, as empresas produzem as matérias-primas básicas (gás natural, rocha fosfática e enxofre) e intermediárias (ácido sulfúrico, ácido fosfórico e ácido nítrico). No segundo grupo de atividades, fabricam-se os fertilizantes básicos nitrogenados (uréia, nitrato de amônio, nitrocalcio e sulfato de amônio), fosfatados (superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfatos de amônio e fosfato natural acidulado) e potássicos (cloreto de potássio e sulfato de potássio). Na terceira

atividade, as empresas atuam como misturadoras que compram matérias-primas e fertilizantes básicos e elaboram as formulações NPK nas dosagens adequadas ao tipo de solo ou cultura agrícola.

3.3 Histórico dos Processos

Amônia

Na passagem do século XIX para o XX, o químico alemão Fritz Haber fez várias publicações a respeito da possibilidade de síntese de gás amoníaco a partir do hidrogênio e do nitrogênio atmosférico, utilizando-se catalisador. Em 1910, após obter a primeira patente, ele e Carl Bosh, engenheiro da Basf, comercializaram, com sucesso, o processo e começaram a depositar outras patentes com melhorias da tecnologia.

A amônia foi produzida pela primeira vez, em escala industrial, utilizando o processo Haber, em 1913 na fábrica da BASF, em Oppau, na Alemanha. Com o início da I Guerra Mundial, o interesse pelo processo foi deslocado da produção de fertilizantes para a de explosivos.

Haber e Bosh foram, posteriormente, laureados com o Nobel da Química em 1918 e 1931, respectivamente, por seus trabalhos na superação de desafios químicos e de engenharia.

O processo Harber-Bosch deu início a uma nova fase na agricultura e na indústria química mundial. A nova forma de produzir amônia permitiu o desenvolvimento dos fertilizantes químicos nitrogenados que, hoje, garantem a produtividade de quase dois terços de toda a agricultura mundial.

Não obstante, cenários projetados sugerem que os problemas com a segurança alimentar poderão se ampliar, caso o mundo caminhe no sentido de utilizar biocombustíveis em larga escala, feitos a partir de soja, cana-de-açúcar ou milho, culturas que consomem grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados (MAPA, 2008).

Uréia

A produção de uréia tem como principais matérias-primas a amônia e o dióxido de carbono (CO_2), que pode ser gerado a partir do carvão, de frações do petróleo e do gás natural. Basicamente é composta por seis etapas: síntese, decomposição, recuperação, concentração, tratamento de condensado e granulação.

De forma resumida, a síntese industrial da uréia pode ser feita inicialmente com a utilização do gás metano (CH_4) que, sob alta temperatura, decompõe-se em hidrogênio (H_2), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO_2). Por sua vez, o hidrogênio, juntamente com o nitrogênio atmosférico formam a amônia (NH_3). A amônia, na presença do dióxido de carbono, forma o carbamato de amônio ($\text{NH}_4\text{COONH}_2$). Finalmente, o carbamato de amônio é decomposto em uréia e água. A uréia é então granulada, seguindo na cadeia produtiva.

A uréia é produzida em uma escala de 100.000.000 de toneladas por ano em todo o mundo.

Para uso industrial, a uréia é produzida a partir de amoníaco e dióxido de carbono. Ela pode ser produzida sobre a fórmula de grânulos, flocos, *pellets*, cristais e soluções.

Mais de 90% de sua produção mundial é destinado para o mercado de fertilizantes. A uréia tem o maior conteúdo de nitrogênio de todos os fertilizantes nitrogenados sólidos de uso comum (46,7%). Por isso, tem os mais baixos custos de transporte por unidade do nutriente nitrogênio (BNDES, 2003).

3.4 Ambiente Organizacional e Competitivo das Empresas de Fertilizantes

O ambiente organizacional da indústria de fertilizantes no Brasil é bem representativo, pois fazem parte da Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA oito entidades de classes, englobando uma Associação, um Instituto e seis Sindicatos (Sindicato nacional, Sindicato da região nordeste e Sindicato dos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Paraná). Existem 116 empresas associadas atuando no setor seja no segmento de matérias-primas básicas, no de produtos intermediários ou no de misturadoras. A maioria dessas empresas está localizada principalmente na região Sudeste (ANDA, 2008).

Com relação à estrutura de mercado no setor de matérias-primas pode-se verificar a verticalização de grandes empresas geralmente produzindo também, pelo menos, produtos intermediários e fertilizantes básicos em grande escala.

De fato, a partir dos dados da ANDA observa-se que essas empresas concentram a produção tanto de matérias-primas quanto de bens intermediários (**Figuras 8 e 9**). O Sudeste concentra 67% da capacidade usual de produção de matérias-primas e 50% dos produtos intermediários utilizados na produção de fertilizantes. São Paulo e Minas Gerais são os principais produtores.

São poucas as empresas que atuam no setor². Na produção de matérias-primas existem oito empresas (**Tabela 4**), destas, duas, Fosfértil e Bunge produzem amônia anidra e dividem o mercado com uma participação de 59 e 41%, respectivamente. Na produção das demais matérias-primas as quatro maiores empresas concentram, no mínimo, 90% da produção.

² Ocorreram fusões e/ou aquisições entre várias empresas como: Adubos Trevo e Yara; Bunge Fertilizantes – Serrana, IAP, Ouro Verde e Manah e controle acionário da Fertifós (compartilhado com a Cargil); Copebrás e Fosfago; Fosfértil e Ultrafértil.

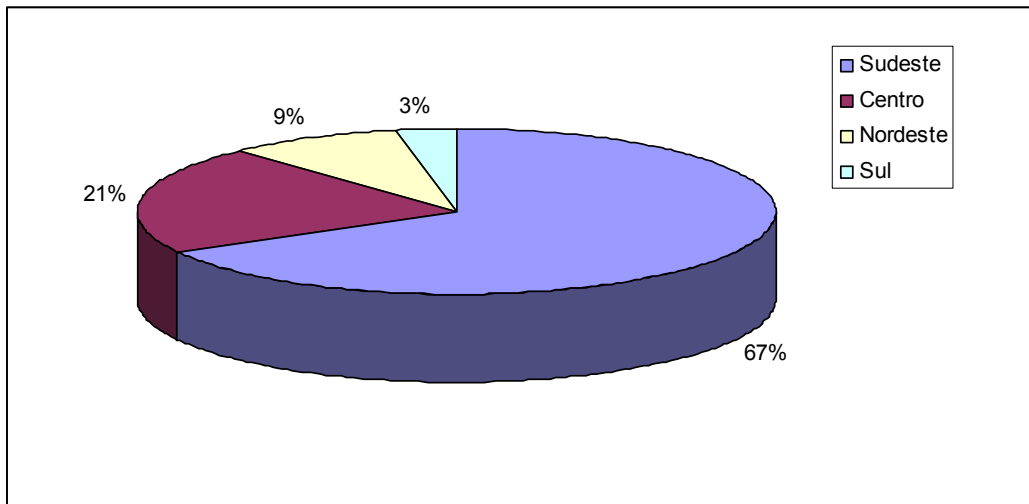


Figura 8 – Capacidade Produtiva de Matérias-Primas das Empresas de Fertilizantes em 2008

Fonte: ANDA – Anuário Estatístico, 2008.

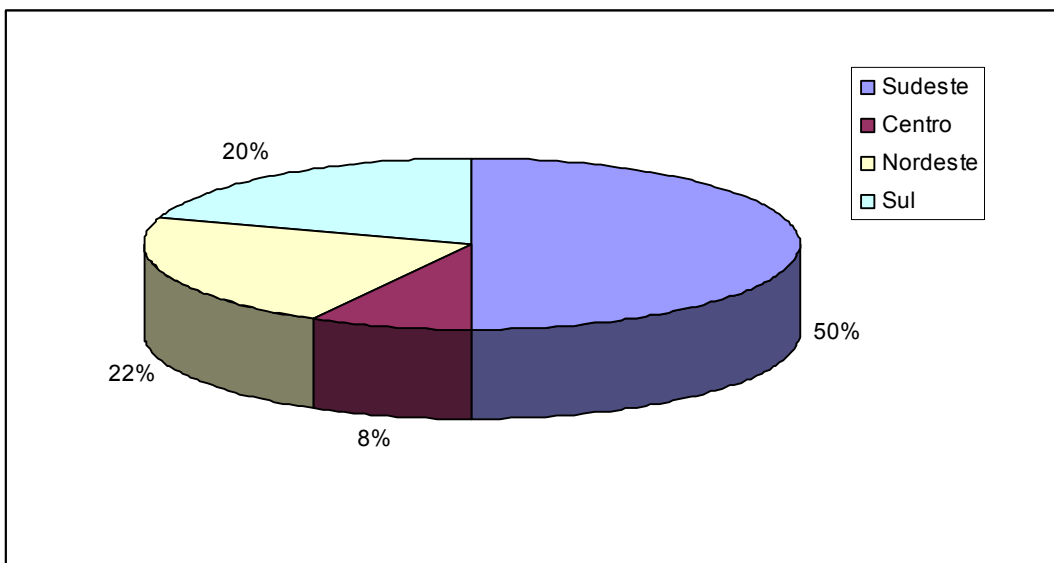


Figura 9 – Capacidade Produtiva de Produtos Intermediários das Empresas de Fertilizantes em 2008

Fonte: ANDA – Anuário Estatístico, 2008.

Tabela 4 – Market Share do Mercado de Fertilizantes Formulados

Empresas	Participação Empresa (%)
Grupo Bunge/ Fosfertil	43,40
Grupo Yara/Fosfertil	15,00
Grupo Mosaic/ Fosfertil	14,06
Grupo Heringer	9,92
Copebrás	4,85
Fertipar	3,92
Galvani	2,73
Iharabras	2,13
Unifertil	1,63
Outros	2,36
Total	100

Fonte: ABIQUIM, 2005 e Lima e Schmidt, 2002.

A utilização da capacidade instalada é elevada (**Tabela 5**). A uréia e a amônia anidra possuem as maiores taxas de ocupação da capacidade instalada. Na média, os produtos intermediários têm uma capacidade ociosa de 15% e as matérias-primas de 7%. No geral, a capacidade ociosa das empresas de fertilizantes é de 10% (ANDA, 2008).

Tabela 5 – Capacidade Instalada de Produção de Amônia e Uréia em 2007, em Toneladas por Ano

Produtos	Capacidade Nominal	Produção Usual	Percentual
Amônia Anidra	1.517.390	1.422.760	94%
Ácido Sulfúrico	5.042.800	4.439.400	88%
Uréia	1.709.775	1.541.600	90%
Fosfato de Monoamônio (MAP)	1.074.495	913.626	85%

Fonte: ANDA - Anuário Estatístico, 2008.

3.5 Análise do Mercado de Fertilizantes

A indústria de fertilizantes tem desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento da agricultura e no aumento da produtividade agrícola para atender às necessidades alimentares e nutricionais de uma população sempre crescente. De fato, de acordo com as projeções do Banco Mundial, realizadas em 1994/1995, a população mundial em 2020 será de sete bilhões de pessoas. O Instituto Internacional de Pesquisa em Política de Alimentos (IFPRI, 1999 citado por *International Fertilizer Industry Association-IFA/United Nations Environment Programme - UNEP, 2000*) estima que os países em desenvolvimento serão responsáveis por cerca de 85% do aumento da demanda global de cereais e carne entre 2005 e 2020. Inevitavelmente, a maior parte do aumento da produção deverá vir de maiores produtividades por unidade de área, o que irá exigir uma maior quantidade de nutrientes por plantas.

Estudos realizados dão conta de que os fertilizantes são responsáveis por cerca de um terço da produção agrícola, e em alguns países chegam a ser responsáveis por até cinquenta por cento das respectivas produções nacionais. Assim, o uso adequado de fertilizantes se tornou ferramenta indispensável na luta mundial de combate à fome e subnutrição. Por outro lado, o uso exagerado desses nutrientes constitui um risco não só para o meio ambiente natural e social, mas também para o econômico uma vez que esse fator contribui para onerar os custos de produção.

O Brasil é um dos poucos países do mundo com potencial para aumentar a sua produção agrícola, seja pelo aumento de produtividade, seja pela expansão da área plantada. Com isto, estará contribuindo, não somente para uma maior oferta de alimentos no contexto mundial, mas, também, para atender a crescente demanda interna de sua população.

Dessa forma, este item analisa as quantidades ofertadas e demandadas de fertilizantes para a agricultura, tendo em vista a possibilidade de se dispor de pelo menos dois insumos básicos para a produção de adubos químicos, a amônia e a uréia, a partir do gás natural.

3.5.1 Indústria Internacional

O mercado de amônia no mundo conta com 309 plantas em operação (ICIS, 2008). Considerando somente as dez maiores (**Tabela 6**), verifica-se que a maior delas, com escala de 2,5 milhões de t/ano, pertence à *Urea Fertilizer Factory Ltd*, localizada em Bangladesh. O tamanho desproporcional das duas maiores plantas identificadas pela base de dados utilizada sugere que essas plantas podem corresponder na verdade a mais de uma unidade industrial situada em um mesmo sítio. Nesse caso, o tamanho efetivo em termos de escala seria menor do que o indicado. Igualmente relevante é a percepção de que o controle acionário destas dez maiores plantas em operação é significativamente pulverizado, posto que nenhuma empresa possui mais de uma planta. Em termos de localização geográfica destas plantas, destaca-se a importância relativa da Rússia, com duas dentre as dez maiores plantas mundiais.

Tabela 6 – Dez Maiores Produtoras de Amônia no Mundo

Empresa	Localização	Capacidade (t/ano)
Urea Fertilizer Factory Ltd.	Ghorasal Bangladesh	2.502.000
Togliatti Azot -	Togliatti Russia	2.000.000
Yara Benelux BV	Sluiskil Netherlands	1.600.000
Kemerovo JSC Azot	Kemerovo Russia	1.350.000
Agrium US Inc	Kenai Alaska US	1.300.000
Fertilizantes Nitrogenados de Venezuela	Jose Anzoategui Venezuela	1.300.000
SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH	Lutherstadt Wittenberg Germany	1.090.000
Krishak Bharati Cooperative Ltd	Hazira Gujarat India	1.000.000
DSM Agro BV	Geleen Netherlands	970.000
Terra Industries Inc	Verdigris Oklahoma. US	955.000

Fonte: ICIS, 2008.

Considerando não somente as dez maiores, mas todas as 309 plantas de amônia em operação no mundo, verifica-se que a escala média alcança o nível 375 mil t/ano, sendo que 44,6% das plantas possuem escala superior a este patamar. Adotando como faixa relevante de análise o intervalo compreendido entre o 4º e 2º *quartis* (compreendendo então as 50% maiores plantas), verifica-se como faixa relevante de operação o intervalo de [330 mil t/ano e 2.502 mil t/ano].

Comparando as plantas existentes com os projetos de plantas (**Tabela 7**), verifica-se que a menor planta em projeção é bastante superior a menor planta existente (100 mil t/ano versus 3 mil ton/ano); todavia, a maior planta em estudo não supera a maior planta existente (1.350 mil t/ano versus 2.502 mil t/ano). Este fato parece indicar a tendência de planejamento de construção de plantas menores do que as já em operação; o que é corroborado quando se considera que a faixa relevante de operação das plantas em projetos – 2º e 4º quartis – [435 mil t/ano e 1.350 mil t/ano] tem amplitude bem menor do que o intervalo relevante das plantas já em operação.

Tabela 7 – Estatísticas Básicas - Plantas e Projetos de Construção de Plantas de Amônia no Mundo

	Plantas em operação (ton/ano)	Projetos (ton/ano)
Mínimo	3.000	100.000
Quartil 1	233.000	306.250
Mediana	330.000	435.000
Quartil 3	472.500	660.000
Máximo	2.502.000	1.350.000

Fonte: ICIS, 2008.

Quando se analisa a estrutura de mercado de amônia no mundo do ponto de vista das empresas, verifica-se que o mercado é bem pouco concentrado, pois o CR8 é de 20%, indicando que as oito maiores empresas detêm apenas 20% do mercado (PENSA/USP, 2002). A maior empresa neste ramo é a Agrium Inc., detendo capacidade produtiva de 4,2 milhões de t/ano.

A **Tabela 8** apresenta a produção mundial de amônia, onde a China, Rússia, Índia e Estados Unidos produzem mais de 53% da produção mundial.

Tabela 8 - Produção Mundial de Amônia

País Produtor	Quantidade (1.000 t de N)	Δ %	País Produtor	Quantidade (1.000 t de N)	Δ %
China	35.893	30,0	Holanda	1.900	1,6
Rússia	10.250	8,6	Arábia Saudita	1.772	1,5
Índia	10.009	8,4	Qatar	1.754	1,5
Estados Unidos	8.036	6,7	Egito	1.658	1,4
Indonésia	4.370	3,7	Romênia	1.316	1,1
Ucrânia	4.296	3,6	Bangladesh	1.301	1,1
Trinidad Tobago	4.237	3,6	França	1.168	1,0
Canadá	3.787	3,2	Japão	1.072	0,9
Alemanha	2.968	2,5	Brasil	1.069	0,9
Paquistão	2.493	2,1	Outros	17.121	13,2
Polônia	2.070	1,7	Total Mundial	119.470	100,0

Fonte: IFA, 2008.

3.5.2 Indústria Nacional

Existem cinco produtores de amônia no Brasil (**Tabela 9**), mas três deles são empresas siderúrgicas que produzem quantidades muito pequenas de amônia como sub-produtos em seus processos industriais. Assim, efetivamente, o mercado é atendido pelas produções de Petrobras e Fosfertil, cada uma com duas plantas, e cerca de 58% e 41%, respectivamente, do mercado. As escalas situam-se em torno da mediana (330.000 t/ano) das capacidades instaladas no mundo. A produção nacional tem se mantido próxima do consumo aparente e existe um projeto da Petrobras para a construção de uma nova planta. As escalas das plantas brasileiras são pequenas em relação às escalas mundiais, mas, aparentemente, sem grandes desvantagens em relação ao porte médio internacional.

Tabela 9 – Capacidades Instaladas de Amônia (t/ano)

Empresa	Localização	Capacidade Instalada em 2007
Gerdau/Açominas	MG	3.600
CSN	RJ	5.760
Petrobras – Fafen	BA/SE	907.500
Fosfertil	SP/PR	629.000
Usiminas	MG	3.800
Total		1.549.660

Fonte: ABIQUIM, 2008.

3.5.2.1 Oferta de Demanda de Fertilizantes

Para se determinar a demanda nacional de fertilizantes até 2017/18, levaram-se em conta as projeções de áreas plantadas, calculadas a partir de informações do LSPA (MAPA, 2008). Foram utilizados dados de algodão, arroz, cana-de-açúcar, feijão, milho, soja, trigo e café. As projeções da necessidade de fertilizantes foram calculadas com base nos valores médios de fertilizantes entregues nessas culturas entre os anos de 2004 e 2007 (ANDA, 2008).

Em 2007 foram produzidas internamente, 9.816 mil toneladas de adubos e importadas cerca de 17,5 milhões de toneladas, a quantidade entregue foi de 29,6 milhões de toneladas.

Pela análise da **Tabela 10**, pode-se constatar que a necessidade de fertilizantes para a safra 2017/18, apenas para as culturas citadas, deveria ser da ordem de 42 milhões de toneladas e, não havendo incrementos na produção brasileira, a importação necessária para completar o abastecimento deverá ser da ordem de 22 milhões de toneladas de fertilizantes.

Dessa forma, deverá ocorrer um incremento na importação de fertilizantes, correspondendo a aproximadamente 72% da demanda. Assim, a carência existente no agronegócio nacional deverá sofrer uma piora considerável e a produção nacional de *commodities* possivelmente dependerá da importação de fertilizantes, uma vez que apenas 28% do adubo deverá ser atendida pela produção nacional. Esse fato será um fator de incerteza para a competitividade do setor agrícola.

Tabela 10 - Projeções da Demanda, Importação, Estoques e Produção de Fertilizantes – 2008/09 a 2017/18 (em 1.000 toneladas)

Ano	Oferta Projetada				Demanda Projetada	
	Estoque	Produção	Importação	Oferta	Consumo	Estoque
2007/08	2.292	9.816	17.530	29.638	24.609	5.029
2008/09	5.029	10.000	18.225	33.254	29.279	3.975
2009/10	3.975	10.000	19.514	33.489	29.696	3.793
2010/11	3.793	10.000	20.551	34.344	30.087	4.257
2011/12	4.257	10.000	19.883	34.140	30.454	3.686
2012/13	3.686	10.000	20.967	34.653	30.802	3.850
2013/14	3.850	10.000	22.014	35.864	31.132	4.732
2014/15	4.732	10.000	22.747	37.479	31.447	6.032
2015/16	6.032	10.000	23.385	39.417	31.747	7.670
2016/17	7.670	10.000	23.902	41.572	32.035	9.537
2017/18	9.537	10.000	22.044	41.580	32.311	9.269

Fonte: USP/PENSA, 2002.

Considerando-se que do total de fertilizantes cerca de 26% (ANDA, 2008) será fonte de nitrogênio, temos uma demanda projetada para o biênio 2017/18 da ordem de 8,1 milhões de toneladas de fertilizantes nitrogenados.

Mantidos os preços internacionais atuais ao redor de US\$ 300 para amônia (Caribe) e US\$ 350 para Uréia (EUA – Golfo) e a proporção de amônia/uréia de 1 para 3 (ANDA, 2008), o custo da importação prevista para 2017/18, somente da matéria-prima será aproximadamente de US\$ 2,7 bilhões de dólares apenas com esses dois produtos (ANDA, 2008).

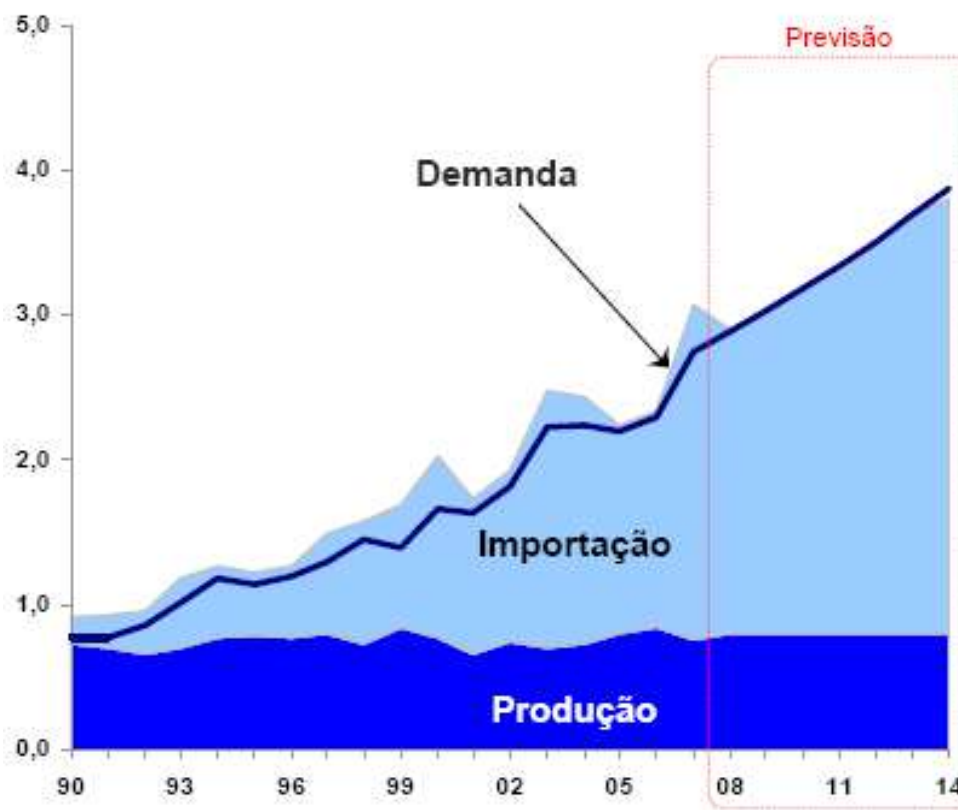


Figura 10 - Balanço de Oferta e Demanda de Nitrogênio
 Fonte: ANDA, 2008.

3.6 Considerações sobre o Mercado Brasileiro de Fertilizantes

Essa lacuna entre a produção e o consumo nacional é complementada pelas importações que tiveram um incremento total expressivo da ordem de 300%, no mesmo período. A participação dos produtos intermediários representou, em 2007, 85% das importações, mas essa participação já foi maior, em 1990, por exemplo, foi de 93%. Essa diminuição na participação dos produtos intermediários vem dando lugar ao aumento da participação das matérias-primas na pauta de importação dos fertilizantes que vem crescendo consideravelmente ao longo destes últimos 15 anos. Das matérias-primas, um dos maiores incrementos ocorreram na amônia (1.044%). As **Figuras 11 e 12** mostram o comportamento das importações: total, dos produtos intermediários e das matérias-primas.

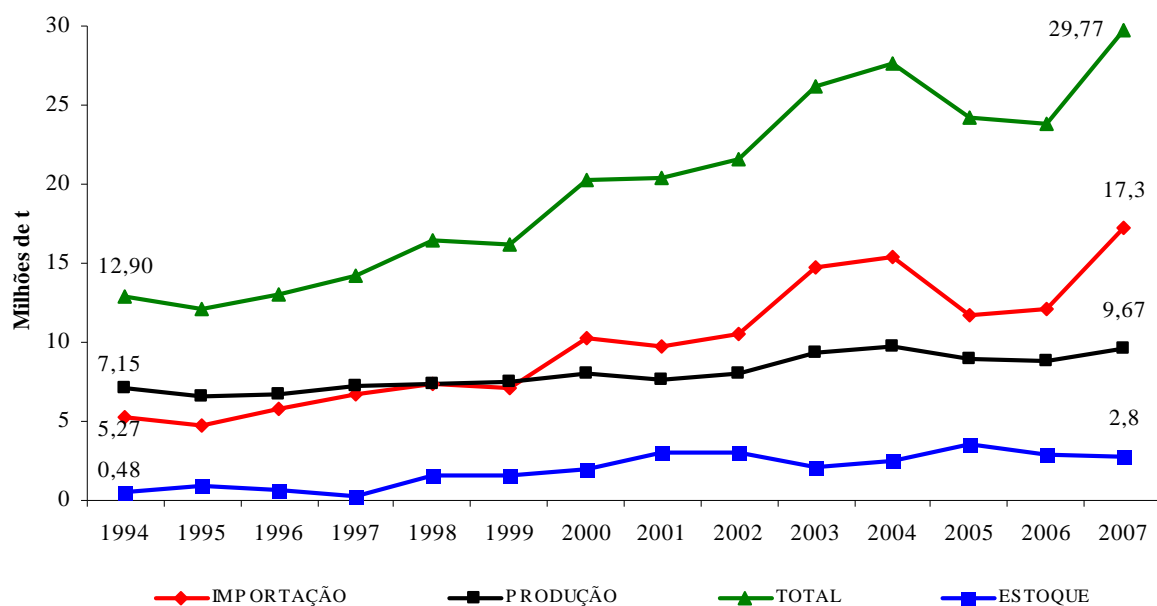


Figura 11 - Oferta de Fertilizantes no Brasil - 1994 a 2007 (milhões de toneladas)

Fonte: ANDA e MDIC, 2008.

Estes indicadores delineiam um cenário positivo para novos investimentos no setor. No Brasil, entre 1994 e 2007, o consumo de fertilizantes cresceu à taxa de 6,32% a.a. e atingiu o montante de 29,77 milhões de toneladas em 2007. Entre 1994 e 2007 o consumo de fertilizante quase triplicou em termos de volumes físicos. A **Figura 12** ilustra o comportamento da demanda de fertilizantes no Brasil.

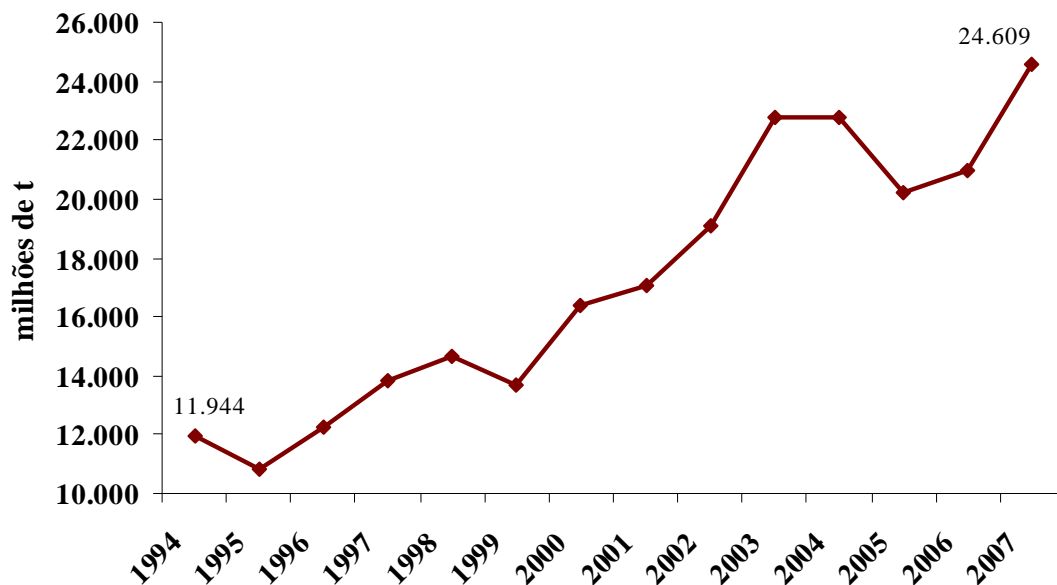


Figura 12 - Brasil: Evolução da Demanda por Fertilizantes
 Fonte: ANDA, 2008.

A morosidade da indústria brasileira em acompanhar o virtuoso de crescimento da demanda da agroindústria, implicou a importação, em larga escala, de fertilizantes, cuja taxa média de 9,83% a.a. entre 1994 e 2007. Não obstante, fusões e aquisições realizadas após a privatização do setor deixaram esta indústria concentrada e liderada por três grupos multinacionais que, por isso, têm a capacidade de interferir nos preços praticados no mercado. Como consequência desses fenômenos, o preço médio dos fertilizantes vem sendo inflacionado desde 1998 e apresenta tendência de alta até 2018. A continuidade desse cenário irá interferir consideravelmente nos custos de produção e a competitividade das principais *commodities* produzidas pelo Brasil, fato que realça a necessidade de se implementar políticas públicas que não permitam tais efeitos sobre o agronegócio nacional.

4. Tecnologias Disponíveis para Produção de Amônia e seus Derivados a partir de Gás Natural

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os principais processos de obtenção e processamento de gás de síntese e os fluxogramas das principais tecnologias licenciadas para produção de amônia e de uréia.

Amônia

Processos de Produção de Amônia

O processo de obtenção de NH_3 a partir do gás natural pode ser subdividido em:

- **Obtenção do gás de síntese:** Existem vários processos para, a partir do gás natural e/ou óleos pesados, obter-se CO e H_2 , dos quais apenas este último é necessário ao processo.
- **Purificação do gás de síntese:** Esta etapa visa à remoção de substâncias que possam causar danos aos catalisadores mais à frente do processo, tais como CO, CO_2 , H_2O . Impurezas como argônio e metano também reduzem a eficiência do processo e devem ser removidos.
- **Síntese de amônia e separação e recirculação (*synthesis Loop*):** Hidrogênio e nitrogênio são reagidos a altas pressões para gerar amônia. A reação tem baixa conversão, o que é compensado com a recirculação, permitindo alcançar altos rendimentos.

As rotas mais usuais de produção de amônia estão apresentadas na **Figura 13**.

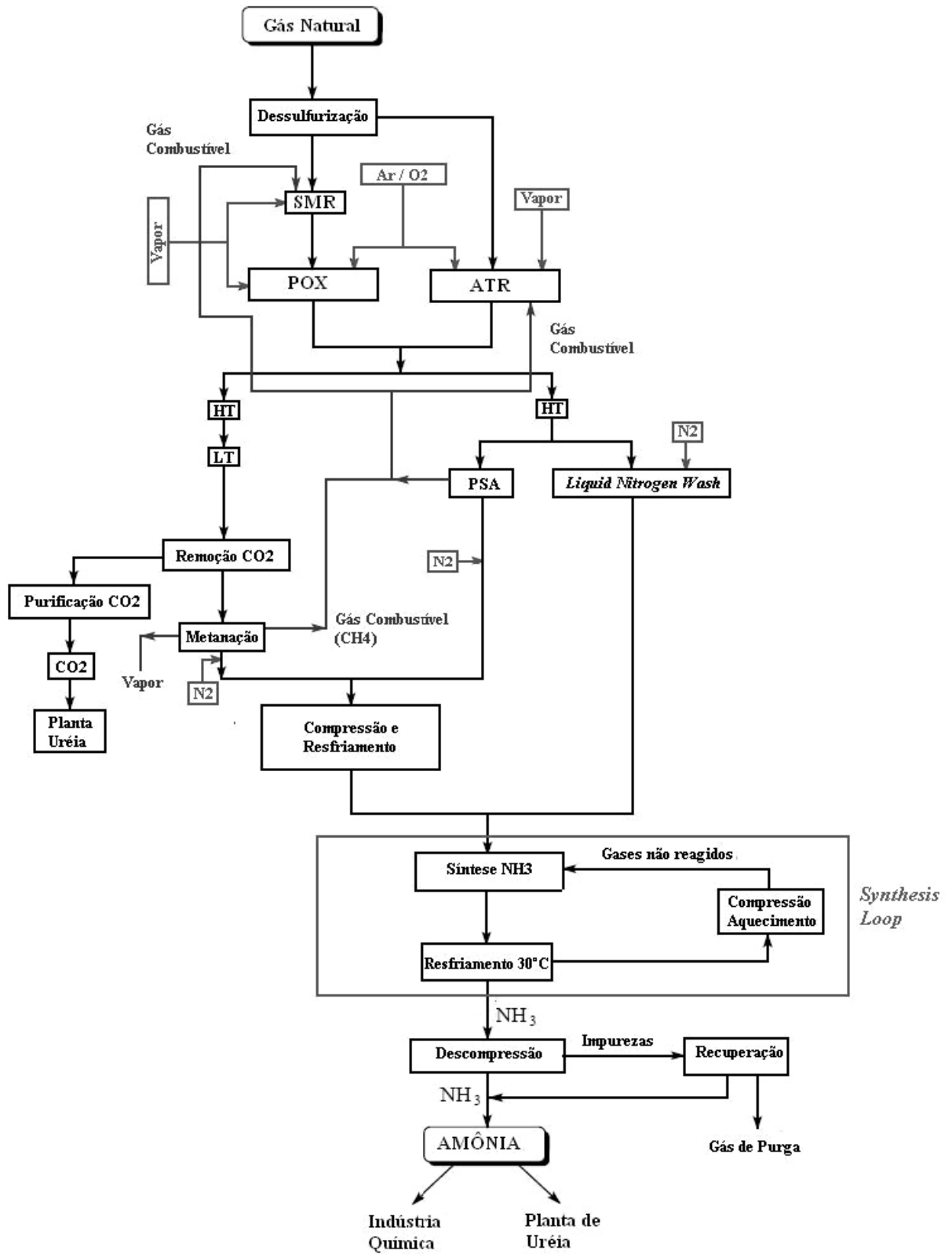


Figura 13 - Rotas Usuais para a Produção de Amônia

Fonte: GEROSA, 2007.

4.1 - Obtenção do Gás de Síntese (syngas)

Deseja-se produzir uma mistura gasosa de N₂ e H₂ na proporção de 1:3. As matérias primas utilizadas são: água, ar e hidrocarbonetos.

Esta etapa compreende a produção do gás, a conversão do CO através da *shift conversion* e purificação do gás.

Atualmente, o uso principal do gás de síntese é na manufatura de amônia e metanol, na síntese de hidrocarbonetos via processos de Fischer-Tropsch, e na obtenção de hidrogênio que, dependendo do seu grau de pureza, pode ser utilizado em diversos setores industriais.

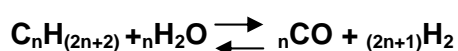
O uso principal do gás de síntese é para a fabricação de amônia (50%), seguido por usos em refinarias (produção de CO e H₂ – 22%), fabricação de metanol (14%), siderurgia (17%), ácido acético (1%) e outros usos (6%) (GEROSA, 2007).

Normalmente para a produção de amônia a partir do gás de síntese utiliza-se o ar como reagente. O nitrogênio presente no ar atmosférico é um dos componentes da molécula da amônia. Neste caso, o ar atmosférico é passado por uma unidade de fracionamento, a fim de que ocorra a separação do O₂, N₂ e de gases inertes (Maxwell, 2005).

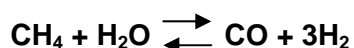
4.1.1 - Reforma a Vapor do Metano – SMR

A SMR consiste na conversão do gás natural por reação com vapor de água em altas temperaturas em um processo catalítico. Tanto a alta temperatura quanto a grande quantidade de calor requeridas neste processo, são fornecidas através dos queimadores localizados no interior dos fornos, onde se encontram reatores tubulares, nos quais ocorre o processo de conversão. Atualmente, é a tecnologia industrial mais antiga e mais utilizada para a produção de gás de síntese. É um processo de alto custo industrial por ser endotérmico e por trabalhar com altas temperaturas (500 a 800°C). Essas condições reacionais levam à desativação do catalisador pela formação de coque em sua superfície.

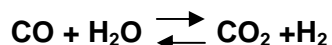
Através do processo SMR, os hidrocarbonetos gasosos podem ser convertidos cataliticamente em H₂ e CO:



Aplicando esta reação para o metano tem-se:



A reação é endotérmica e na maioria dos casos, ocorre à alta temperatura, baixa pressão e necessita de uma alta razão molar vapor/carbono, isto é, trabalha-se com excesso de vapor d'água. Quando acontece o resfriamento da mistura gasosa, uma reação conhecida como *water shift gas* ou *shift gas conversion* ocorre:



Na saída do processo de produção do gás de síntese, sempre estará presente uma mistura de H₂, CO, CO₂ e CH₄, não reagido.

A composição média do gás de síntese é de 73% de H₂, 16% de CO, 7% de CO₂ e 4% de CH₄.

O metano que entra no processo é misturado com vapor de água na razão vapor/carbono de 2,5-4,5 mol. Uma etapa opcional de pré-aquecimento pode ser realizada e a mistura é enviada ao primeiro reformador.

Nas condições usuais, com o volume de metano residual na faixa de 4-10%, é necessário que o gás de síntese seja submetido a um outro processo para reduzir esta taxa. Normalmente, o que se faz é utilizar a oxidação parcial do metano no segundo reformador. O produto final, a ser obtido, é que determinará o reagente a ser usado: ar ou O₂, e, a necessidade da presença ou não de catalisador.

O gás de síntese, dentro do primeiro reformador, atinge uma temperatura em torno de 600°C (temperatura média da reação), sendo que, na saída deste, o gás de síntese atinge uma temperatura média de 830°C. O produto obtido é combinado com O₂ ou ar e, então, é pré-aquecido. Uma parcela da mistura gasosa é queimada através de combustão espontânea e a temperatura média da mesma na saída do segundo reator, eleva-se em torno de 1200°C. A partir deste momento, a conversão do metano ocorre, adiabaticamente, no leito catalítico de níquel. Na saída do processo, a temperatura do gás de síntese está por volta de 1200°C, contendo de 0,2 a 0,3% de metano residual, faixa de valor aceitável para vários processos subseqüentes.

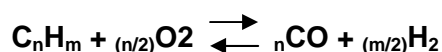
O catalisador do reformador secundário e o revestimento do refratário devem ser praticamente isentos de sílica, cuja presença pode gerar compostos silicatos, que se depositarão ao longo do reator, gerando perdas de calor durante o processo.

No processo SMR é necessário que se trabalhe com o excesso de vapor para propiciar melhores conversões. O excesso não deve alterar ou prejudicar o resultado do processo. A razão estequiométrica de entrada varia de acordo com o que se deseja obter na saída do processo. Outra razão pela qual se deve utilizar um excesso de vapor é a de prevenir a deposição de carbono na superfície do catalisador presente nos tubos do primeiro reformador; esta deposição poderia causar um fenômeno conhecido como *hot-spot*, o que reduziria a vida útil deste (Gas Processes, 2004).

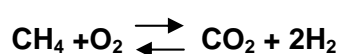
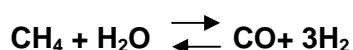
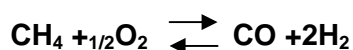
4.1.2 - Oxidação Parcial – POX

Na oxidação parcial (*Partial Oxidation* - POX), não é necessário usar o catalisador de níquel (leito fixo) e o gás de entrada não necessita estar tão limpo quanto para o SMR. O POX catalítico requer uma matéria-prima com o mesmo grau de pureza quanto àquela requerida para o SMR e usa o catalisador de níquel. Estes dois processos utilizam O₂ ou ar como reagente e ambos podem constituir uma etapa seqüencial do SMR, visando garantir uma menor quantidade de metano residual. É interessante notar que, como ocorre combustão espontânea do metano, o processo é exotérmico.

O processo é uma reação de hidrocarbonetos com certa quantidade de oxigênio (puro ou misturado com ar), insuficiente para que aconteça a combustão completa, a qual ocorre na faixa de temperatura 1100-1600°C e com pressões de até 15 MPa (150 atm). Esta operação é classificada como um processo contínuo e é descrito por três reações, a saber:



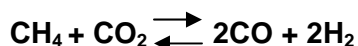
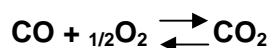
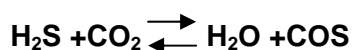
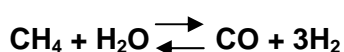
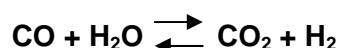
Para o metano,



Para evitar altas temperaturas no processo, adiciona-se vapor, que reage com os hidrocarbonetos. Este procedimento resulta numa maior formação de H₂.

Independentemente da natureza da matéria-prima, os compostos de entrada (contendo carbono, hidrogênio, oxigênio e compostos sulfurosos), depois de atingir o equilíbrio químico e termodinâmico, serão totalmente convertidos em CO, CO₂, H₂, água, CH₄, H₂S e COS.

O deslocamento do equilíbrio do metano, do ácido sulfídrico e da produção e equilíbrio de dióxido de carbono são as variáveis capazes de alterar o tempo padrão para o equilíbrio do processo ser atingido, bem como influenciar a estequiometria de saída. Estas reações estão esquematizadas abaixo:



Nelas, para unidades não catalíticas, a mistura gasosa tende a ser mais alta. Neste tipo de processo, é necessária a instalação de unidades de remoção de CO₂ e compostos sulfurosos antes do envio do gás de síntese para as unidades de produção de amônia.

Nas unidades de POX catalítico, a matéria-prima de entrada deve estar isenta de compostos sulfurosos, já que estes danificam o catalisador. A presença do catalisador faz com que a temperatura do processo seja um pouco mais baixa, aproximadamente 1000°C (Gas Processes, 2004).

4.1.3 - Reforma Autotérmica – ATR

No processo ATR, o gás natural é queimado e reagido de forma simultânea com O₂ e vapor de água. Esta mistura gasosa é enviada a um leito catalítico de níquel. O agente oxidante utilizado pode ser ar atmosférico ou oxigênio puro. Analisando-se o ATR sob os aspectos relacionados às condições de processo tais como temperatura e pressão, nota-se seu posicionamento entre o SMR e o POX. Seus valores típicos para temperatura e pressão estão na faixa de 2 a 4 MPa e 800 a 1200°C, respectivamente.

A reação de combustão ocorre rapidamente e gera elevada temperatura no interior do reator. Este processo tem como vantagem a produção de um gás de síntese ideal para vários processos posteriores de conversão. Como o processo exige a injeção de O_2 (puro ou misturado com ar), é recomendável que exista uma planta de fracionamento e de purificação de ar, o que encarecerá o projeto. A necessidade está relacionada ao uso final do gás de síntese produzido.

Visto que o processo ATR consiste na combinação do POX catalítico com o SMR, o calor liberado em cada reação atribui uma característica muito peculiar à operação como um todo, tornando-a energeticamente mais eficiente.

O calor requerido no processo é obtido através da combustão parcial do CH_4 . O reformador consiste em um reator cerâmico alinhado a uma zona de combustão combinada com uma zona catalítica, na qual se encontram os leitos catalíticos de níquel. O calor gerado na zona de combustão é transferido para a zona catalítica através da própria corrente gasosa interna do reator, fornecendo dessa forma, o calor necessário para que ocorra a reação de reforma a vapor.

O POX catalítico é uma reação exotérmica, com $\Delta H = -36\text{kJ/mol}$ na condição padrão, cujo calor liberado pode ser transferido e utilizado pelo SMR, uma vez que os dois processos ocorrem no mesmo reator.

Quando o processo ATR é realizado nas condições ideais de operação, com uma quantidade precisa e correta de ar, combustível e vapor, a eficiência teórica pode ser maior que a do processo SMR convencional (93,9% contra 91,7%). Contudo, a eficiência térmica está em torno de 88,5%. Esta mesma comparação, quando feita para o processo SMR, mostra um valor em torno de 81%, incluindo o hidrocarboneto utilizado como combustível nos queimadores, e em torno de 83,5% para o POX.

Uma vantagem do processo ATR é a sua flexibilidade para as matérias-primas de entrada, pois é possível trabalhar tanto com hidrocarbonetos gasosos, os denominados leves, quanto os mais pesados, tais como a nafta petroquímica, gasolina e óleo diesel. Entre os processos SMR, POX (catalítico e não catalítico) e o ATR, este último é o mais recente; o que mais precisa ser aperfeiçoado. Grandes evoluções poderão surgir com respeito à redução da razão molar oxigênio/carbono. Isto deverá significar uma redução na temperatura do processo (atualmente é em torno de 1200°C). O ideal seria ter-se entre 650 a 900°C . Avanços nas pesquisas com catalisadores deverão reduzir o tempo de residência nos reatores (Gas Processes, 2004).

Tabela 11 – Vantagens e Desvantagens dos Processos de Produção de Gás de Síntese

Processo	Vantagens	Desvantagens
SMR	É a tecnologia industrial mais antiga e mais utilizada para a produção de gás de síntese, sendo mais estudada e conhecida.	Processo endotérmico e que trabalha com altas temperaturas. Normalmente é necessário que o gás de síntese seja submetido a um outro processo para reduzir sua quantidade de metano residual.
POX	Não é necessário utilizar o catalisador de níquel para configuração de leito fixo e o GN não necessita estar tão limpo quanto para o processo SMR. O processo é exotérmico.	No POX Catalítico utiliza-se o catalisador de níquel, sendo necessário trabalhar com uma matéria-prima com o mesmo grau de pureza que no processo SMR nesta configuração. O rendimento do POX é menor do que o SMR.
ATR	Maior rendimento de processo do que SMR e POX, maior flexibilidade para as matérias-primas de entrada.	É a tecnologia mais recente e a que mais precisa ser aperfeiçoada.

Fonte: Elaboração Própria a partir de Gas Processes, 2007 e GEROSA, 2007.

4.1.4 - Estado da Arte da Tecnologia de Produção do Gás de Síntese

4.1.4.1 - Processo CRG (Catalytic Rich Gas) – Pré-reforma, Empobrecimento e Metanação – Licenciado pela Davy Process Technology e Catalisador Licenciado pela Synetix

Utiliza como matéria-prima gás natural e hidrocarbonetos mais pesados, variando desde o GLP até a nafta.

Utiliza-se leito catalítico fixo com catalisador de níquel, onde ocorre na presença de vapor a conversão das correntes de hidrocarbonetos em uma corrente resultante de produtos que contém somente CH₄ juntamente com H₂, CO₂, CO e vapor. O processo permite uma economia na unidade primária de reforma, resultante da redução de energia no forno de reforma.

Condições de operação: a temperatura varia numa faixa entre 250 a 650 °C e a pressão usada é acima de 75 bar.

O diagrama do processo está ilustrado na **Figura 14**.

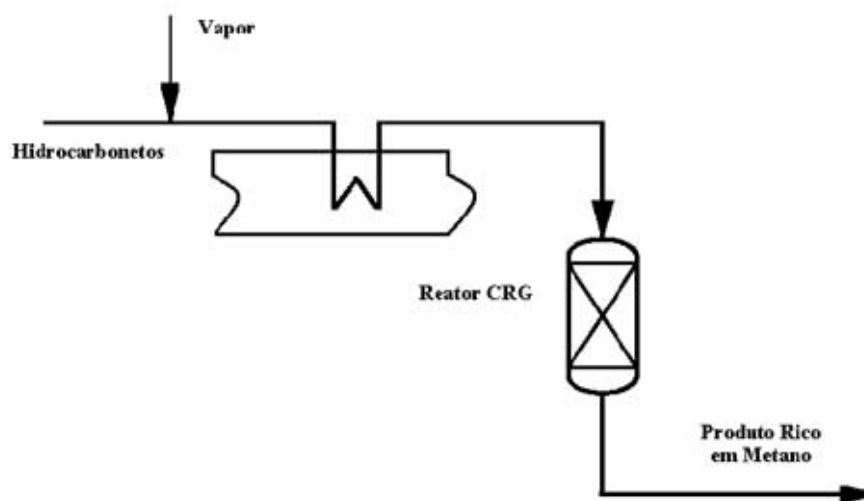


Figura 14 - Diagrama do Processo CRG

Fonte: CRG, 2007.

4.1.4.2 - Tecnologia Syngas ATR (*Autothermic Reforming*) – Licenciado pela Haldor Topsoe

O processo é empregado para se produzir gás de síntese rico em monóxido de carbono. Utilizando-se de matérias-primas como GN, GLP ou nafta petroquímica, com o auxílio de O_2 e CO_2 (para se ajustar a composição do gás de síntese), são gerados CO e H_2 puros ou gás de síntese. Também pode ser aplicado na produção em larga escala de gás de síntese, visando obter combustíveis líquidos (*Gas-to-Liquid*).

O processo é a mistura de POX com a reforma a vapor adiabática, utilizando um leito catalítico fixo de níquel. A unidade consiste em um pré-aquecedor da carga, dessulfurização, unidade opcional de pré-reforma, um reator de reforma dotado de queimador, câmara de combustão e leito catalítico, seção de recuperação de calor e, quando necessário, uma seção de purificação de gás. Condições de operação: temperatura de saída do reator, variando numa faixa de 950 a 1050°C, e a pressão no reator variando entre 20 e 70 bar.

Relações estequiométricas: razões de entrada H_2O/CH_4 de 0,2-1,5 e CO_2/CH_4 de 0,0-2,0 são utilizadas para se obter gás de síntese com razão molar de H_2/CO de 0,8-2,5 (Gas Processes, 2004).

O diagrama do processo está ilustrado na **Figura 15**.

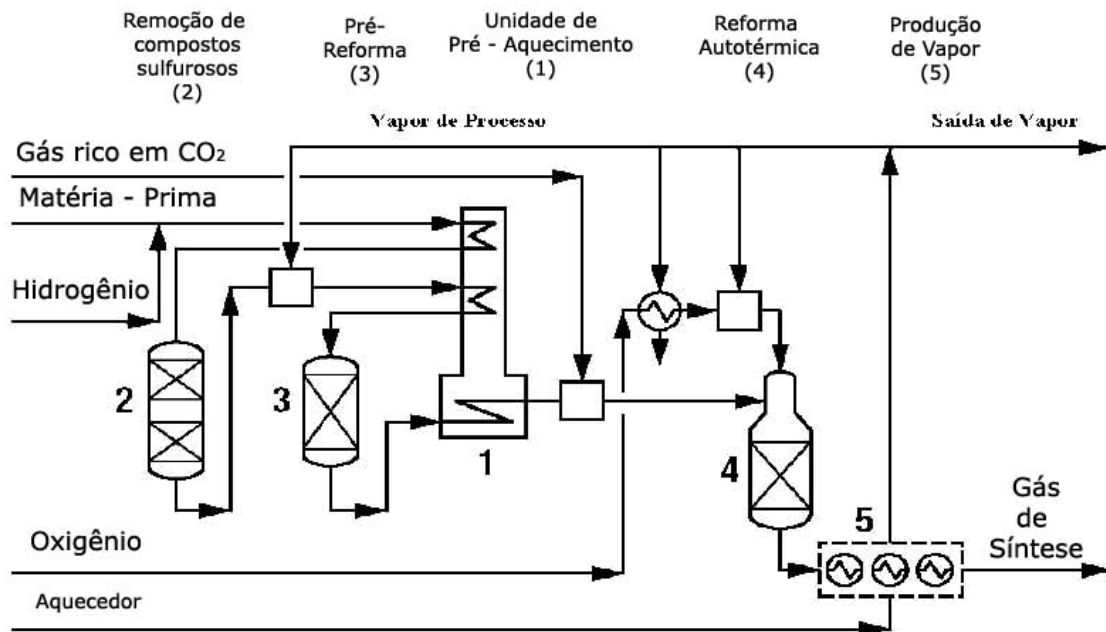


Figura 15 - Diagrama do Processo Syngas ATR da Haldor Topsoe

Fonte: Gas Processes, 2004.

4.1.4.3 - Processo Syngas Autothermal – Licenciado pela Hower-Baker Engineers, Ltd

O processo é aplicado na produção de CO e H₂ para uso na indústria petroquímica. É ideal para a síntese de oxo-álcoois e de metanol. O produto obtido é o gás de síntese, contendo CO e H₂. O *syngas* pode ser utilizado diretamente na obtenção de produtos químicos, ou pode ser processado, fornecendo CO e H₂ com altos teores de pureza.

A carga de gás natural é pré-aquecida e depois dessulfurizada em um sistema convencional de hidrotratamento, na presença de óxido de zinco. Adiciona-se vapor à corrente dessulfurizada. Nesta etapa, pode-se utilizar opcionalmente o reciclo de CO₂.

A mistura é enviada a uma unidade de reforma auto térmica (vaso com revestimento refratário) que contém catalisador e é dotada de queimador localizado nas proximidades do topo do vaso. A mistura é, então, queimada na presença de O₂ e passa através de um leito catalítico, onde ocorrem as reações de reforma.

O gás sai de 926 a 1037°C, dependendo das especificações finais desejadas, para a corrente gasosa. Esta é resfriada e passada através de uma unidade de remoção de CO₂. A corrente resfriada resultante é composta de CO, H₂ e pequenas quantidades de CO₂, que pode ter uso como gás de síntese ou, então, através de reforma criogênica, pode-se obter CO e H₂ com alto grau de pureza. O CO₂ pode ser reciclado

para que se faça um ajuste na relação CO/H_2 . A relação estequiométrica, ótima para a carga de gás natural, é a razão de CO/H_2 entre 1,6 e 2,7.

O diagrama do processo está ilustrado na **Figura 16**.

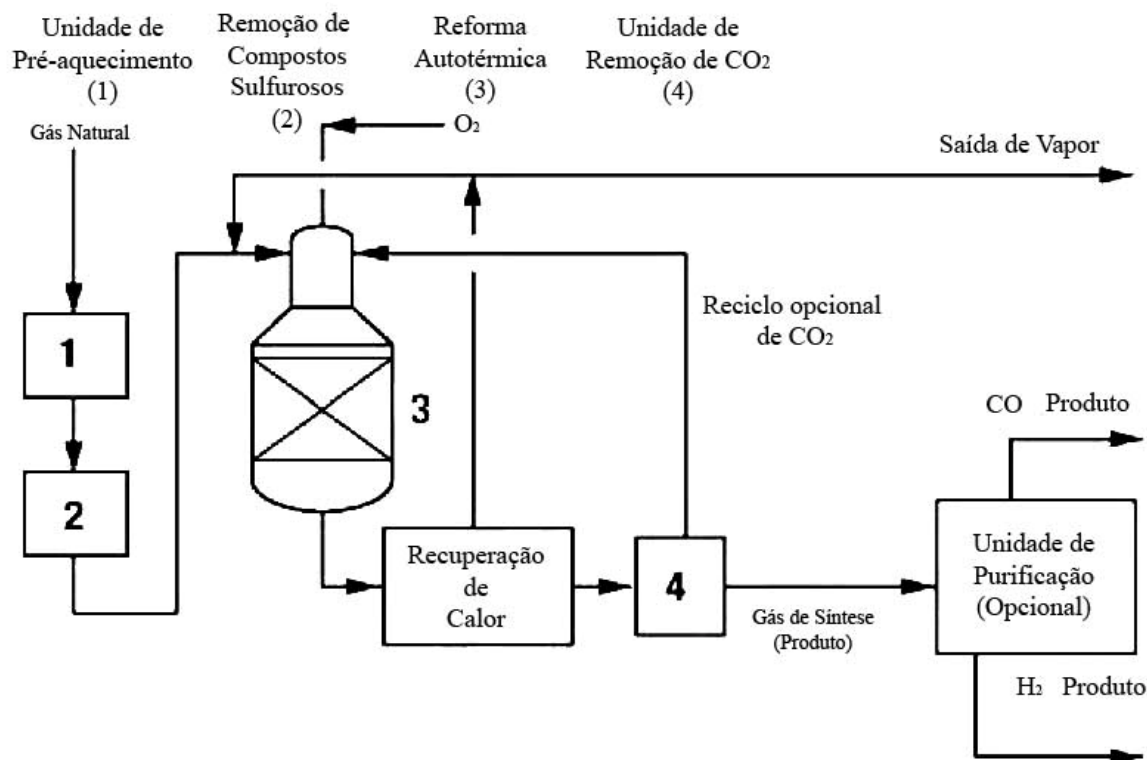


Figura 16 - Diagrama do Processo Syngas Autothermal, Hower-Baker

Fonte: Gas Processes, 2004.

4.1.4.4 - Processo SMR Avançado – Licenciado pela Haldor Topsoe

Os produtos obtidos são CO e H_2 puros ou misturas dessas espécies (gás de síntese), que são utilizados para a produção de ácido acético, oxo-álcoois, isocianatos e outros insumos petroquímicos, usando como matéria-prima gás natural, gás liquefeito de petróleo ou nafta petroquímica.

As vantagens do processo incluem operação em baixas relações de vapor e carbono, saídas do reformador com altas temperaturas e elevado fluxo de calor, que pode ser reaproveitado. Quando se utilizam hidrocarbonetos mais pesados do que o gás natural, torna-se necessária a utilização de uma unidade de pré-reforma conectada ao reator tubular. CO_2 importado de outras unidades e/ou CO_2 de reciclo são utilizados na produção de gás de síntese, rico em CO .

O gás de síntese, rico em CO, é obtido através de cargas de H₂O/CH₄, na razão de 1,5 a 2,0 com gás carbônico de reciclo e/ou gás carbônico de outras unidades. Isto resulta na razão H₂/CO, abaixo de 1,8 nas condições de saída do reformador a uma temperatura próxima de 950°C. A unidade consiste de dessulfurização da carga, pré-reforma e reforma em reator tubular, recuperação e reciclo de CO₂ e purificação final. A purificação de gás de síntese em membranas ou *cold box* depende das especificações finais requeridas para o gás de síntese produzido.

O diagrama do processo está ilustrado na **Figura 17**.

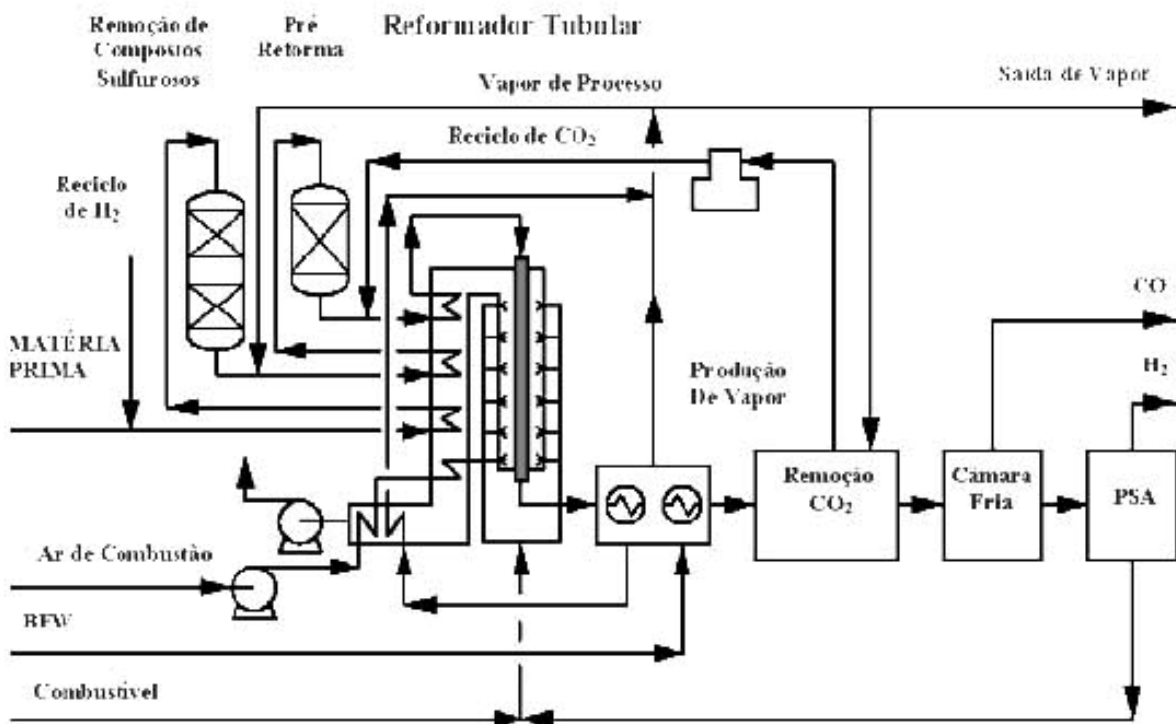


Figura 17 - Diagrama do Processo Advanced SMR, Haldor Topsoe

Fonte: Gas Processes, 2004

4.1.4.5 - Processo de Reforma a Vapor do Metano – Licenciado pela Uhde GTmbH

O processo é aplicado para a produção de H₂ e/ou gás de síntese. Os produtos resultantes são: gás de síntese para a produção de H₂, de amônia, de combustíveis sintéticos obtidos pelo processo Fischer-Tropsch, oxo-compostos e metanol, usando como matérias-primas gás natural, gás de refinaria, nafta leve ou gás liquefeito de petróleo.

Através da alta temperatura de reação do CH_4 ou dos hidrocarbonetos leves sobre o catalisador de níquel, produzem-se H_2 e CO . A reforma ocorre em tubos empacotados com o catalisador, colocados verticalmente em uma unidade de reforma a vapor.

As temperaturas de descarga da ordem de 740 a 959 °C e pressões de até 50 bar. A larga faixa de temperaturas dá versatilidade ao reformador.

O diagrama do processo está ilustrado na **Figura 18**.

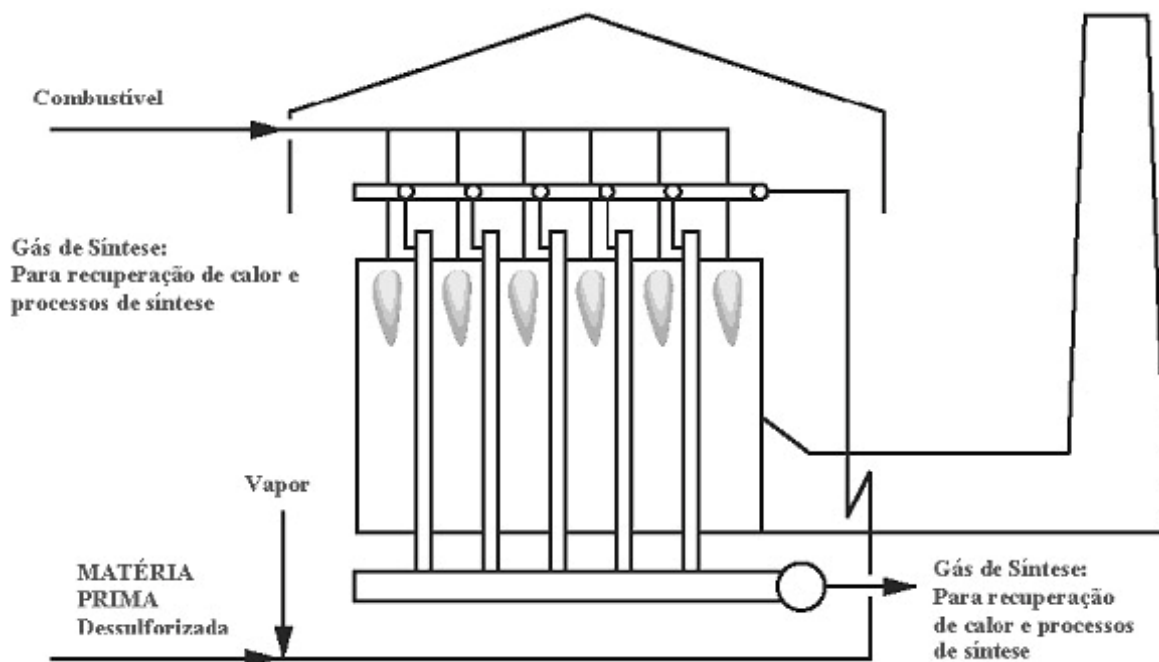


Figura 18 - Diagrama de Processo da Reforma a Vapor do Metano, Uhde GmbH

Fonte: Gas Processes, 2004

4.1.4.6 - Processo *Gas-To-Liquids* – Davy Process Technology

Esse processo é aplicável na produção de um produto cru, bombeável e isento de enxofre. Ele está ilustrado na **Figura 19**.

Os produtos obtidos são: compostos parafínicos e hidrocarbonetos líquidos, isentos de enxofre. A matéria-prima mais utilizada é o gás natural (inclusive com altos teores de gás carbônico), que é pré-aquecido com o objetivo de se remover o enxofre (através de tecnologia convencional de dessulfurização). Adiciona-se vapor e gases de reciclo a carga aquecida.

Esta mistura gasosa é enviada a unidade de pré-reforma (CRG). A adição de vapor seguida por aquecimento é completada antes que a mistura de gases passe para a unidade compacta de reforma. Esta unidade compacta é um reator multitubular, operando em contracorrente que, na presença de catalisador de níquel, produz uma mistura de óxidos de carbono e H₂.

O aquecimento para esta reação endotérmica é fornecido usando o excesso de hidrogênio produzido no processo como combustível. O gás, que deixa a unidade de reforma, é resfriado, gerando vapor suficiente para satisfazer às necessidades de aquecimento.

O excesso de condensado é, então, removido. O gás de síntese seco obtido é comprimido e passa por separação em membranas, nas quais o excedente de hidrogênio é recuperado e reutilizado como combustível. O produto não separado em membranas é enviado à seção de conversão, na qual o gás de síntese é convertido em produtos parafínicos, utilizando-se catalisador de cobalto. O gás de síntese não convertido é reciclado e enviado como carga para a unidade compacta de reforma.

Os produtos parafínicos, oriundos da seção de conversão, podem passar por hidrocraqueamento, de modo a gerar uma corrente bombeável. Por ser uma unidade compacta é ideal para instalações *offshore*, onde há restrições de peso e de espaço.

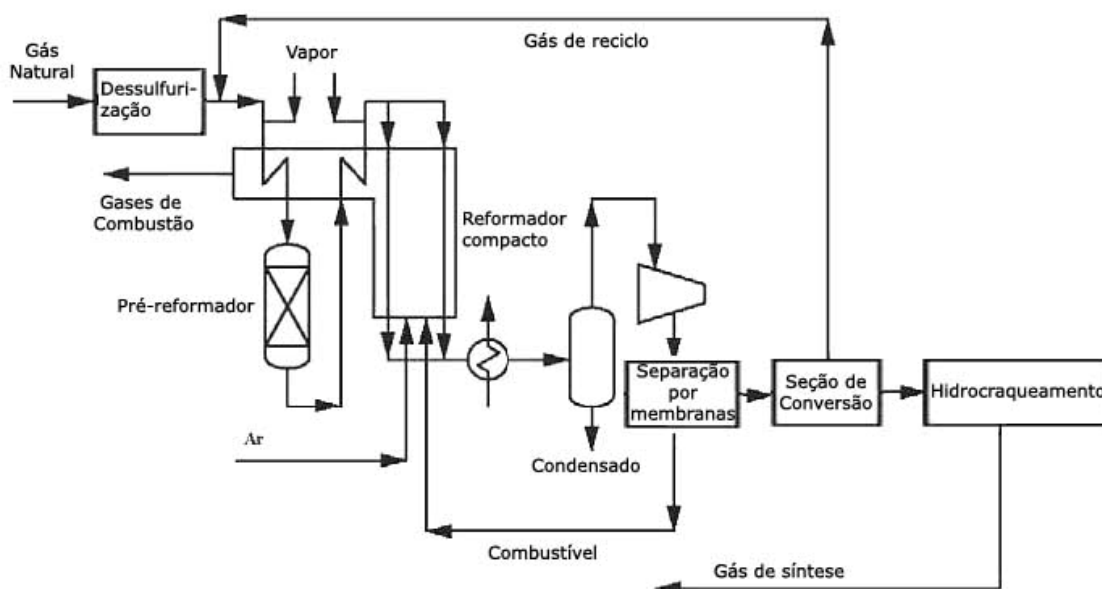


Figura 19 - Diagrama do Processo *Gas-To-Liquids*, Licenciado pela Davy Process Technology

Fonte: Gas Processes, 2004.

4.1.4.7 - Processo *Gas-To-Liquids* – Licenciado pela Syntroleum Corporation

O processo é aplicado na produção de combustíveis sintéticos ultralimpes. Os produtos obtidos são GLP, querosene e nafta, isentos de enxofre, aromáticos e/ou metais pesados, usando como matéria-prima o gás natural. O processo utiliza ar na produção do gás de síntese. Ar, vapor e gás natural são misturados e reagem em uma unidade de reforma autotérmica. O gás de síntese produzido tem uma relação $H_2:CO$ de 2:1. O catalisador utilizado é de cobalto. O monóxido de carbono obtido é hidrogenado a hidrocarbonetos sintéticos.

O gás de síntese não reagido é utilizado como combustível para turbinas, aquecedores e outros equipamentos. As correntes dos crus gerados são refinadas de modo a se obter os combustíveis ultra-limpes. Comparando-se o processo com os processos convencionais de refino de petróleo, este é menos severo, consome menos hidrogênio, as temperaturas e pressões são menores e o catalisador tem a sua vida útil aumentada, devido à ausência de enxofre, metais pesados e de hidrocarbonetos aromáticos. O processo é adequado para instalações *onshore* e *offshore*.

O diagrama do processo está ilustrado na **Figura 20**.

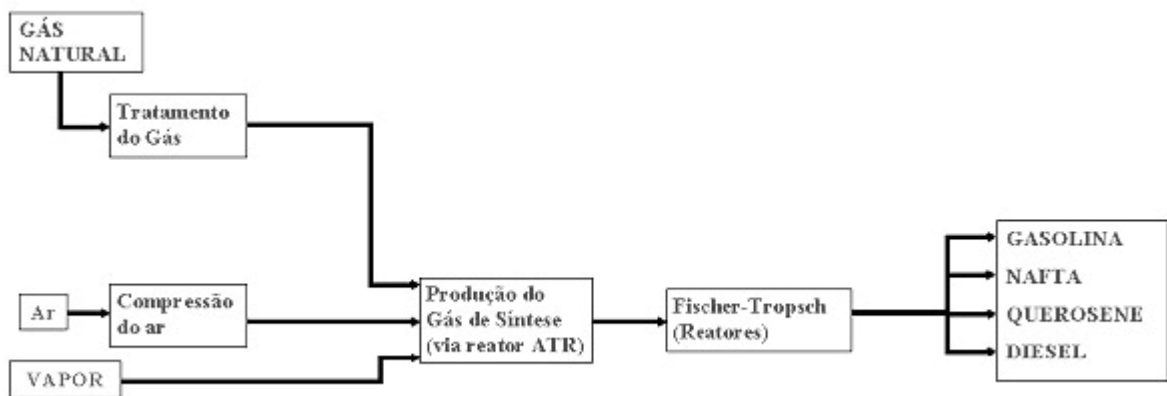


Figura 20 - Diagrama de Processo *Gas-To-Liquids*, Syntroleum

Fonte: Gas Processes, 2004.

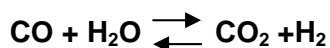
4.2 - Purificação do Gás de Síntese

A purificação do gás de síntese envolve a remoção de compostos que podem reduzir a taxa e o rendimento da geração de amônia. Existem algumas etapas principais que serão descritas a seguir.

4.2.1 - Remoção do CO através da *Shift Conversion*

Na saída dos reformadores, o gás apresenta em sua composição H₂, CO, CO₂, CH₄ não reagido e água (condensada ou vapor), em percentagens que dependem dos processos de reforma usados, e com temperatura entre 700 e 1400 °C.

A reação conhecida como *shift conversion* consiste em reagir CO com vapor, gerando CO₂ e H₂. O processo é exotérmico e limitado pelo equilíbrio químico, que é dependente da temperatura da reação.



Existem três tipos de *shift conversion*:

Shift conversion high temperature (HT), que se utiliza geralmente de uma faixa de temperatura de operação entre 300 e 450°C e 2,5% de monóxido de carbono em volume na saída do gás (seco); *shift conversion medium temperature* (MT), ou *isothermal shiftconversion* que se utiliza geralmente de uma faixa de temperatura de 220 a 250°C, tendo a percentagem de monóxido de carbono no gás de saída em torno de 0,5% (para o gás seco) e *shift conversion low temperature* (LT), que se utiliza geralmente de uma faixa de temperatura entre 180 e 250°C e cuja percentagem de monóxido de carbono no gás de saída encontra-se em torno de 0,2%.

Para melhorar a remoção de CO, o processo LT é geralmente aplicado na seqüência do HT. Porém, gradualmente o LT está sendo substituído pelo processo PSA (*Pressure Swing Absorption*, que se utiliza de adsorventes adequados e mudanças de pressão para obter graus de pureza de H₂ compreendidos na faixa de 99,9 a 99,9999%, dependendo da composição da mistura gasosa de entrada do processo.

É importante ressaltar que o catalisador utilizado na *low temperature* é extremamente sensível a compostos sulfurosos e clorídricos, não sendo recomendado quando o gás de síntese é obtido somente a partir da oxidação parcial não catalítica do metano (Gas Processes, 2004).

4.2.2 - Remoção de CO₂

O gás carbônico produzido a partir da *shift conversion* deve ser praticamente todo removido antes do gás entrar para a síntese de amônia.

Critérios de seleção de processos de remoção envolvem matéria-prima de entrada, processo escolhido de produção de *syngas*, concentração de monóxido de carbono e de outros gases, pressão parcial do *syngas* cru e a presença ou não de compostos sulfurosos nele, flexibilidade do processo, demanda de energia, custo de investimento e manutenção.

Normalmente, a remoção do gás carbônico ocorre através da passagem da mistura gasosa por solventes físicos ou químicos. O solvente químico entra em contato com o CO₂ produzindo uma reação do tipo reversível, enquanto o físico o dissolve.

Critérios de seleção de solvente envolvem processo de reforma utilizado para a obtenção do *syngas*, a pressão parcial do gás carbônico e a presença ou não de compostos sulfurosos.

Os solventes químicos são mais recomendados quando o *syngas* é obtido a partir do SMR, pois está isento de compostos sulfurosos e o CO₂ apresenta pressão parcial entre 0,4-0,7 MPa. Entre os solventes mais utilizados estão as soluções aquosas de carbonato de potássio e as alcanolaminas. Aminas primárias e secundárias, tais como monoetanolamina (MEA) e dietanolamina (DEA) respectivamente, são utilizáveis porque absorvem o CO₂, rapidamente, porém o processo apresenta um alto consumo energético. Atualmente, as aminas terciárias, tais como trietanolamina (TEA) e metildietanolamina (MDEA) são as mais aplicadas comercialmente.

A absorção do gás carbônico é mais lenta, mas para que ocorra a dessorção do material absorvido, é necessária apenas uma redução de pressão no processo.

Os solventes físicos apresentam-se como melhor opção quando o *syngas* é obtido a partir do POX não catalítico, onde há a presença de ácidos em geral e compostos sulfurosos tanto no gás natural de entrada do processo, quanto no próprio *syngas* obtido. Este é passado pelo processo de *Shift conversion high temperature*, resistente a estas impurezas, e os ácidos e compostos sulfurosos são convertidos basicamente a H₂S. Os solventes físicos absorvem conjuntamente o CO₂ e o H₂S, presentes na mistura gasosa. A pressão parcial do gás carbônico está entre 1 e 3 MPa. Os solventes físicos mais utilizados, atualmente, são: polietileno dimetiléter e carbonato

de propileno. O processo Rectisol, desenvolvido pelas empresas Lurgi e Linde, utiliza o metanol como solvente.

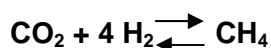
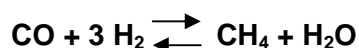
A corrosão dos equipamentos, tais como válvulas e tubulações, é o grande problema encontrado na etapa de remoção de CO₂. Isto acaba por influenciar não somente o custo de capital do projeto, já que é exigida a utilização de ligas especiais de aço inoxidável, como também nas constantes paradas para manutenção, portanto vários inibidores de corrosão têm sido adicionados aos solventes (Gas Processes, 2004).

4.2.3 - Purificação Final

Esta etapa visa à remoção de compostos oxigenados (CO, CO₂, O₂ e H₂O) para evitar danos ao catalisador. Geralmente se escolhem os processos descritos a seguir:

- Metanação

Este processo é mais utilizado quando o *syngas* é obtido através do SMR e na seqüência passa pelos processos *Shift conversion high temperature* e *Shift conversion low temperature*. A presença de CO no gás de entrada oscila entre 0,2-0,3% e 0,01-0,1% de CO₂, dependendo do processo de limpeza aplicado. Trata-se de um processo simples que consiste em reagir o CO e o CO₂ com H₂ produzindo CH₄, vapor e gerando calor que pode ser aproveitado em outra parte da planta.



A temperatura usada fica na faixa de 250-350°C e a pressão em torno de 3 MPa, e a concentração de CO e CO₂ na saída do processo é menor ou igual a 5ppm.

Este processo é vantajoso pela simplicidade, baixo consumo energético e baixo custo de implantação e manutenção. Porém, tem-se como desvantagem que uma parcela do excedente de H₂ produzido nas etapas de *shift conversion* é consumido. (Gas Processes, 2004)

- Liquid Nitrogen Wash

O *liquid nitrogen wash* remove impurezas como monóxido de carbono, argônio e metano do fluxo de H₂ da entrada do processo e estabelece a razão estequiométrica em 1:3 N₂:H₂ requerida para a síntese da amônia.

Este processo é constituído pela unidade de adsorção que remove os traços de água, gás carbônico e solventes. A remoção destes compostos é necessária a fim de se evitar o congelamento da corrente gasosa devido às baixas temperaturas.

A unidade *cold-box* é a responsável pelo término da limpeza do gás, que ocorre pela utilização de processos criogênicos (Gas Processes, 2004).

4.3 – Síntese de Amônia: O Processo Haber-Bosch

O processo Haber-Bosch reage o N₂ proveniente do ar com o H₂ que provém geralmente do metano do gás natural, a fim de se obter a amônia. A reação é reversível e exotérmica. O fluxograma do processo está ilustrado na **Figura 21**.

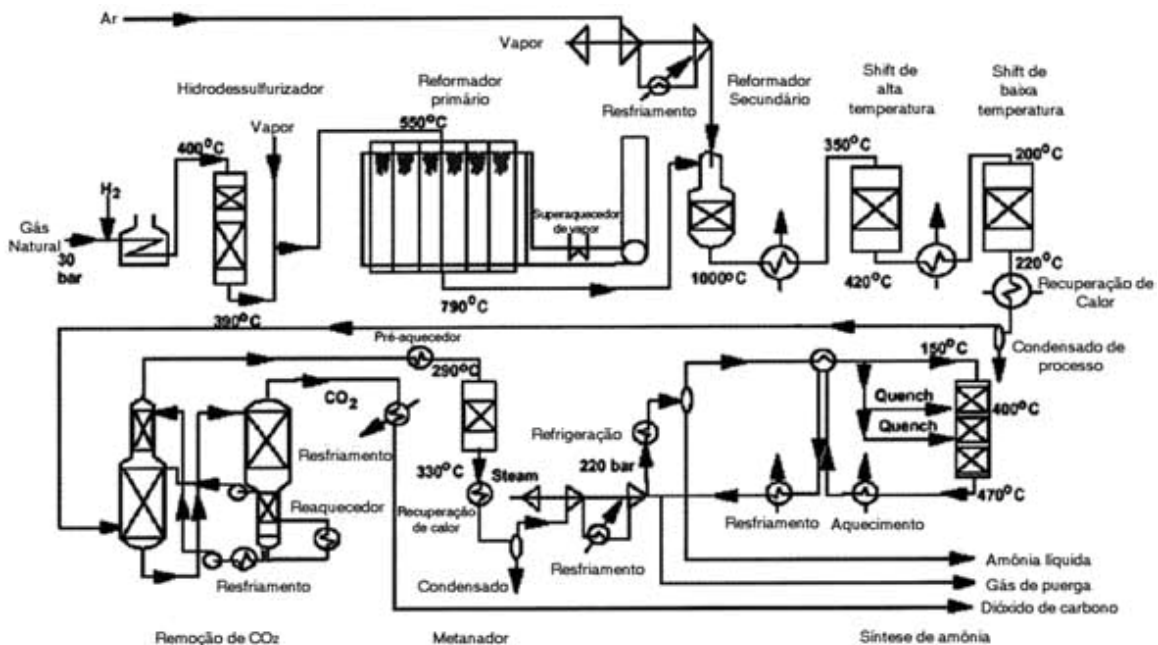
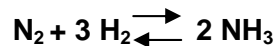


Figura 21 – Fluxograma Simplificado de uma Planta de Amônia

Fonte: Maxwell, 2005.

4.3.1 - Tecnologias Licenciadas

4.3.1.1 - Kellogg Brown & Root Advanced Ammonia Process – Plus (KAAP)

O KAAP^{plus™} (Kellogg Brown & Root Advanced Ammonia Process – Plus) é um design de processo de amônia feito das tecnologias comercialmente comprovadas KBR Reforming Exchanger System (KRES), purificador KBR, e KBR Advanced Ammonia Process (KAAP) for synthesis.

O KRES é um processo que elimina o primeiro reformador, tradicional das tecnologias de produção de amônia, diminuindo os custos de capital. Os tubos radiais, padrão do reformador do tipo *fired reformer* foram substituídos por um único e robusto reformador, do tipo casco-tubo, denominado de *reforming exchanger* (*gas heated reformer* - reformador de gás aquecido).

O KAAP usa o KRES com excesso de ar alimentado ao reformador autotérmico, e o excesso de nitrogênio, junto com argônio, a maior parte do metano e outras impurezas são removidas no purificador KBR, que utiliza-se um processo de purificação criogênico, e que também ajusta a razão estequiométrica de N₂:H₂ para 1:3, o ideal para a síntese da amônia. O gás de síntese resultante é comprimido para o *loop* de síntese do KAAP a uma pressão de aproximadamente 90 bar, com conversão de 20% por passe.

Este processo consegue economizar de 3 a 8% em termos de custo em relação a outros *designs*, o que é resultado do processo não se utilizar de uma planta de separação de ar, não ter um reformador primário, ter um compressor de gás de uma câmara, da pressão utilizada na síntese, não ter uma unidade de recuperação de gás de purga e espaço reduzido necessário (Maxwell, 2005).

4.3.1.2 - Haldor Topsøe

A síntese por este processo é baseada no conversor de amônia S-200, que é um conversor de dois leitos de fluxo radial com resfriamento indireto entre eles. Características deste conversor incluem uso eficiente de seu volume e pouca queda de pressão, além da alta conversão por passe devido ao resfriamento indireto. Modificações neste conversor geraram o S-300, com adição de mais um leito e de um trocador de calor interno instalado entre o segundo e terceiro leitos, entre outras modificações, reduzem o consumo de energia em 0,3 Gcal/t de amônia e aumentam a capacidade em 20% (Maxwell, 2005).

4.3.1.3 - Lurgi A.G. MegaAmmonia

É uma tecnologia recente, para plantas com capacidades superiores a 1 Mt/ano, melhor do que os outros *designs*, que tinham capacidades de 0,73 a 0,84 Mt/ano. Este processo diferencia-se do convencional por não apresentar as limitações do SMR, pois utiliza o POX catalítico. Ele evita o *loop* de síntese por trabalhar a alta pressão e, e utilizar *Rectisol® Nitrogen Wash*, obtendo um gás de síntese com elevado grau de pureza.

Ele também é vantajoso pela ausência de um reator de nitrogênio na planta, ausência de purga contínua dos gases inertes, ausência do processo de metanação, pois o metano é reciclado e utilizado como combustível na etapa de POX.

Neste processo, após a dessulfurização, saturação e pré-reforma, o gás natural é enviado a um reformador ATR. O oxigênio proveniente da unidade de separação do ar é, também, enviado ao reformador ATR para a produção do *syngas* cru.

Este *syngas* obtido é enviado a um reator de HTSC para ser processado e na seqüência segue para a unidade de purificação denominada *Rectisol® Nitrogen Wash*, onde impurezas, CH₄, CO e Argônio, são removidos através da injeção de N₂. Já o CO₂ é absorvido pelo metanol (utilizado aqui como um solvente físico para a remoção de CO₂) a baixas temperaturas (*cold methanol*).

Após esta etapa, tem-se uma corrente de CO₂ que pode ser reaproveitada industrialmente e as impurezas removidas agem como gás combustível. Já, o *syngas* purificado obtido é comprimido e misturado com a corrente do *loop* de reciclo e enviado a unidade de síntese de amônia.

O gás obtido no processo anterior é resfriado e a amônia líquida obtida é separada da corrente de gás não reagido, o qual é enviado de volta ao processo. (GEROSA, 2007)

O diagrama de blocos do processo está ilustrado na **Figura 22**.

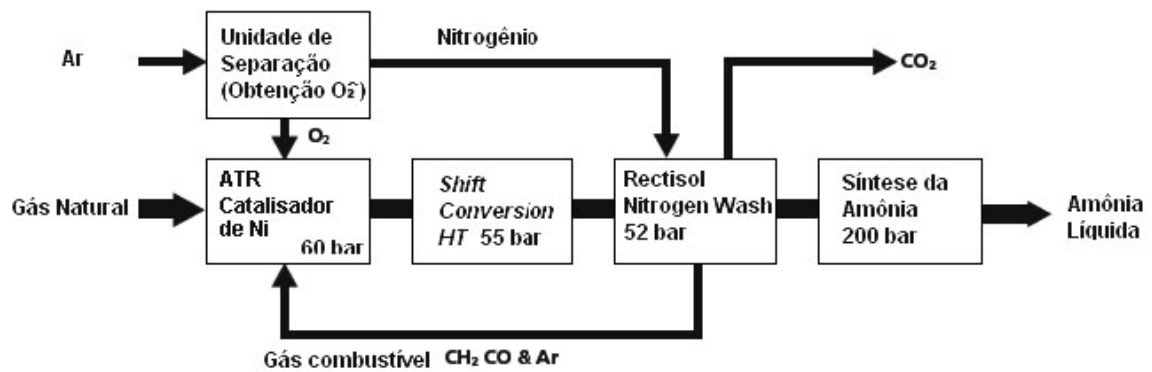


Figura 22 - Diagrama de Blocos do Processo Lurgi A.G. MegaAmmonia

Fonte: GEROSA, 2007.

4.3.1.4 - Ammonia Casale

O processo possui um design de reator axial-radial, permitindo utilizar melhor os catalisadores e menores quedas de pressão, esta última devido ao fluxo de loop de síntese ser reduzido, permitindo economia na utilização de energia para compressão do *syngas* e refrigeração.

Este design também inclui leitos com catalisador que são fáceis de manejar e são baratos, além de um fundo reversível que aumenta a eficiência dos catalisadores (Maxwell, 2005).

4.3.1.5 - Linde Ammonia Concept (LAC)

Esta planta consiste numa moderna unidade de hidrogênio com um sistema de *loop* de síntese altamente eficiente baseado no *design* da Ammonia Casale (AC). Ele necessita de 7 Gcal por tonelada de amônia (Maxwell, 2005).

A Tabela 12 apresenta um comparativo entre as tecnologias para produção de amônia apresentados neste trabalho

Tabela 12 – Comparação de Tecnologias de Produção de Amônia

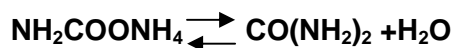
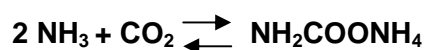
KAAP	Utiliza um único reformador e um processo de purificação criogênico para remover as impurezas e ajustar a razão estequiométrica do N ₂ e H ₂ . O processo consegue economizar de 3 a 8% dos custos quando comparado aos outros designs.
Haldor Topsøe	Conversor tem uso eficiente de seu volume e pouca queda de pressão, além da alta conversão por passe devido ao resfriamento indireto, reduzindo o consumo de energia em 0,3 Gcal/t de amônia e aumentando a capacidade em 20%.
Lurgi A.G. Megaammonia	Ideal para plantas com capacidades superiores a 1 Mt/ano. Não apresenta limitações do SMR, pois utiliza o POX catalítico. Evita o loop de síntese por trabalhar em alta pressão.
Ammonia Casale	Reator axial-radial permite utilizar melhor os catalisadores e gera menores quedas de pressão, economizando energia. Processo inclui leitos com catalisador fáceis de manejar e baratos, além de um fundo reversível que aumenta a eficiência dos catalisadores.
LAC	Loop de síntese eficiente permite que se consumam 7 Gcal por tonelada de amônia.

Fonte: Elaboração própria a partir de Maxwell, 2005.

4.4 – Síntese da Uréia

4.4.1 – Aspectos Gerais

Industrialmente, a uréia é produzida misturando-se amônia com dióxido de carbono, gerando carbamato de amônio, que será decomposto em uréia e água.



Como ela é feita a partir da amônia e dióxido de carbono, todas as plantas de uréia são adjacentes ou próximas a plantas de amônia, que produzem estes dois componentes.

Em 2001 a maior parte das plantas de uréia eram licenciadas por Snamprogetti, Stamicarbon (STAC) ou Toyo. As plantas com Snamprogetti utilizam *stripping* térmico, enquanto os outros dois utilizam *stripping* de CO₂ (Maxwell, 2005).

4.4.2 – Processos licenciados:

Em 2001 a maior parte das plantas de uréia eram licenciadas por Snamprogetti, Stamicarbon (STAC) ou Toyo. As plantas com Snamprogetti utilizam *stripping* térmico, enquanto os outros dois utilizam *stripping* de CO₂. (Maxwell, 2005)

4.4.2.1 – Processo Snamprogetti

Neste processo amônia e CO₂ são convertidos à uréia via carbamato de amônio a uma pressão de 150 a 160 bar e temperatura de 180 °C a 190 °C. Para se alcançar uma conversão de CO₂ de 65%, se usa uma razão molar NH₃/ CO₂ de 3,5. O efluente do reator entra num *stripper* de filme cadente onde uma grande parte do carbamato não convertido é decomposto pela ação do excesso de NH₃, a temperaturas entre 200°C e 210°C. Carbamato residual e CO₂ são recuperados ao longo do *stripper* em dois estágios, sendo que o primeiro opera a 17 bar e o segundo a 3,5 bar. Vapores de CO₂ e amônia do topo do *stripper* são misturados com a solução de carbamato das seções de alta e baixa pressão, condensados no condensador de carbamato de alta pressão e alimentados ao reator. A solução de uréia que deixa o estágio de decomposição de baixa pressão é concentrada na seção de evaporação para fazer uréia fundida (Maxwell, 2005).

O fluxograma do processo está ilustrado na **Figura 23**.

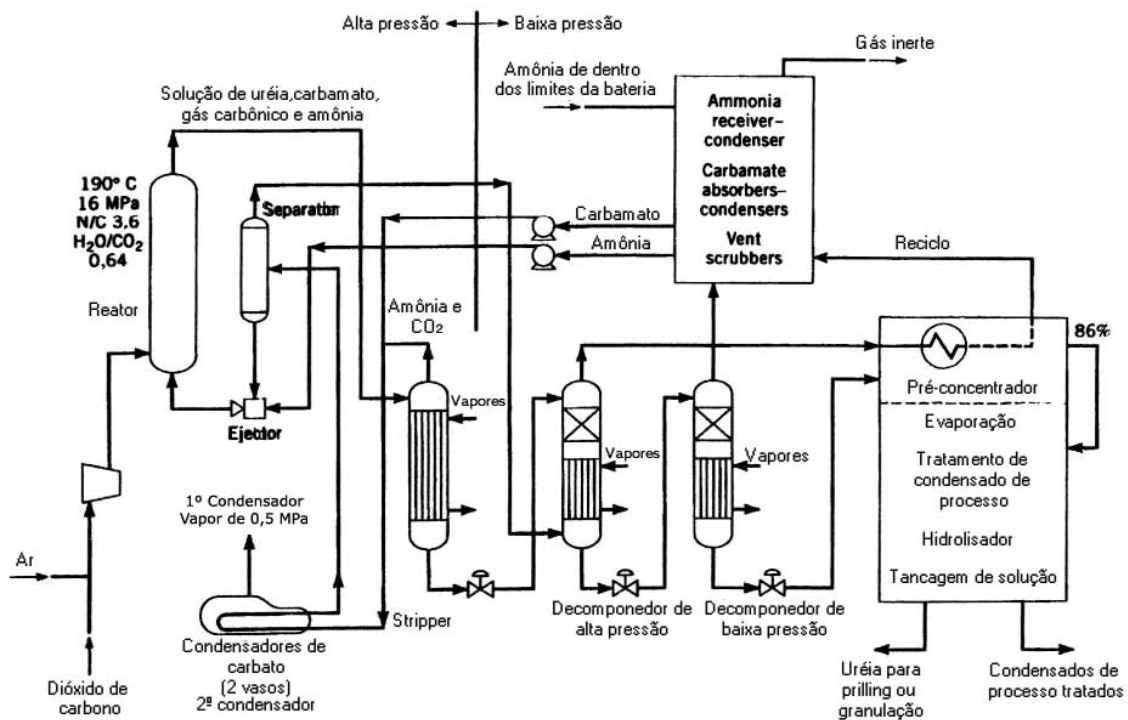


Figura 23 - Fluxograma do Processo Snamprogetti

Fonte: Maxwell, 2005.

4.4.2.2 – Processo Stamicarbon

Neste processo, NH_3 e CO_2 são convertidos a uréia via carbamato de amônio numa pressão de 140 bar e a uma temperatura de 180°C a 185°C. Uma razão molar NH_3/CO_2 de 2,95 é usada no reator para se alcançar uma conversão de 60% de CO_2 e 41% de NH_3 .

O efluente do reator, que contém NH_3 e CO_2 não convertidos, passa por *stripping* num trocador tubular casco e tubo tipo filme cadente na pressão do reator. O agente do *stripping*, o CO_2 , flui para cima em contracorrente com o fluxo do efluente. Os tubos do *stripper* são feitos de aço inoxidável, o que lhes confere vida útil de até 30 anos. O NH_3 e CO_2 que passaram pelo *stripping* são então parcialmente condensados e reciclados ao reator. O calor desta condensação é usado para fazer vapor a 4,5 bar.

O NH_3 e CO_2 do efluente do *stripper* são vaporizados num estágio de decomposição a 4 bar e condensados para formar uma solução de carbamato. A solução é reciclada ao fundo do reator junto com o NH_3 e CO_2 não condensados, e o carbamato é convertido a uréia. A solução de uréia que deixa o fundo do reator é evaporada até

99,8% para *prilling* ou mais de 95% para granulação. O fluxograma do processo está ilustrado na **Figura 24**.

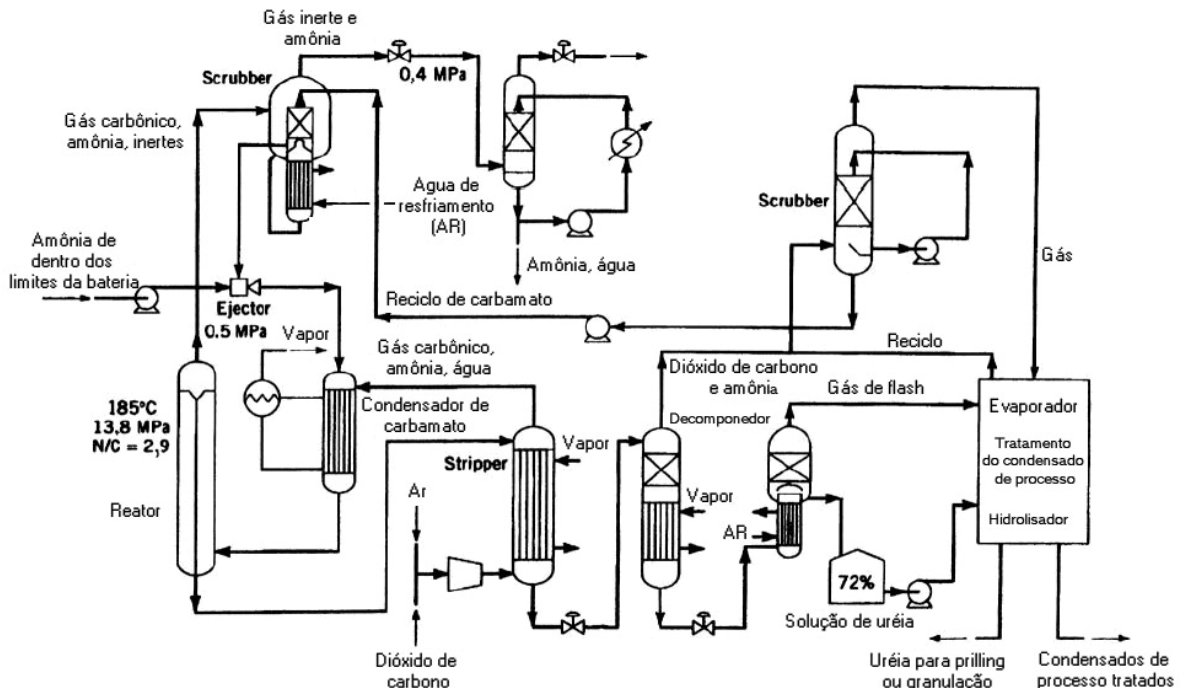


Figura 24 - Fluxograma do Processo Stamicarbon

Fonte: Maxwell, 2005.

4.4.2.3 – Processo Toyo

Neste processo a seção de síntese opera a 175 bar com uma razão molar de NH_3/CO_2 igual a 4,0 e temperatura de 185 °C a 190 °C. Amônia líquida é alimentada diretamente no reator enquanto o CO_2 gasoso é mandado do compressor centrífugo de CO_2 no fundo do *stripper*.

O efluente do reator passa por *stripping* na pressão do reator. A mistura de gás em excesso do *stripper* é alimentada a dois condensadores de carbamato em paralelo, onde os gases são condensados e reciclados sob gravidade ao reator com as soluções absorventes do *scrubber* de alta pressão e absorvedor. O calor gerado no primeiro condensador de carbamato é usado para gerar vapor a 5 bar, e o calor do segundo condensador é usado para aquecer a solução, deixando o fundo do *stripper* após a redução de pressão. Os inertes na seção de síntese são purgados do *scrubber* do topo do reator para recuperação e reciclo de NH_3 e CO_2 .

A solução de uréia que deixa o fundo do *stripper* é purificada ainda mais nos decomponedores de alta (17,5 bar) e baixa (2,5 bar) pressão. A solução de uréia é primeiramente concentrada a 88,7% num concentrador a vácuo e então para a concentração requerida para *prilling* e granulação. O fluxograma do processo está ilustrado na **Figura 25**.

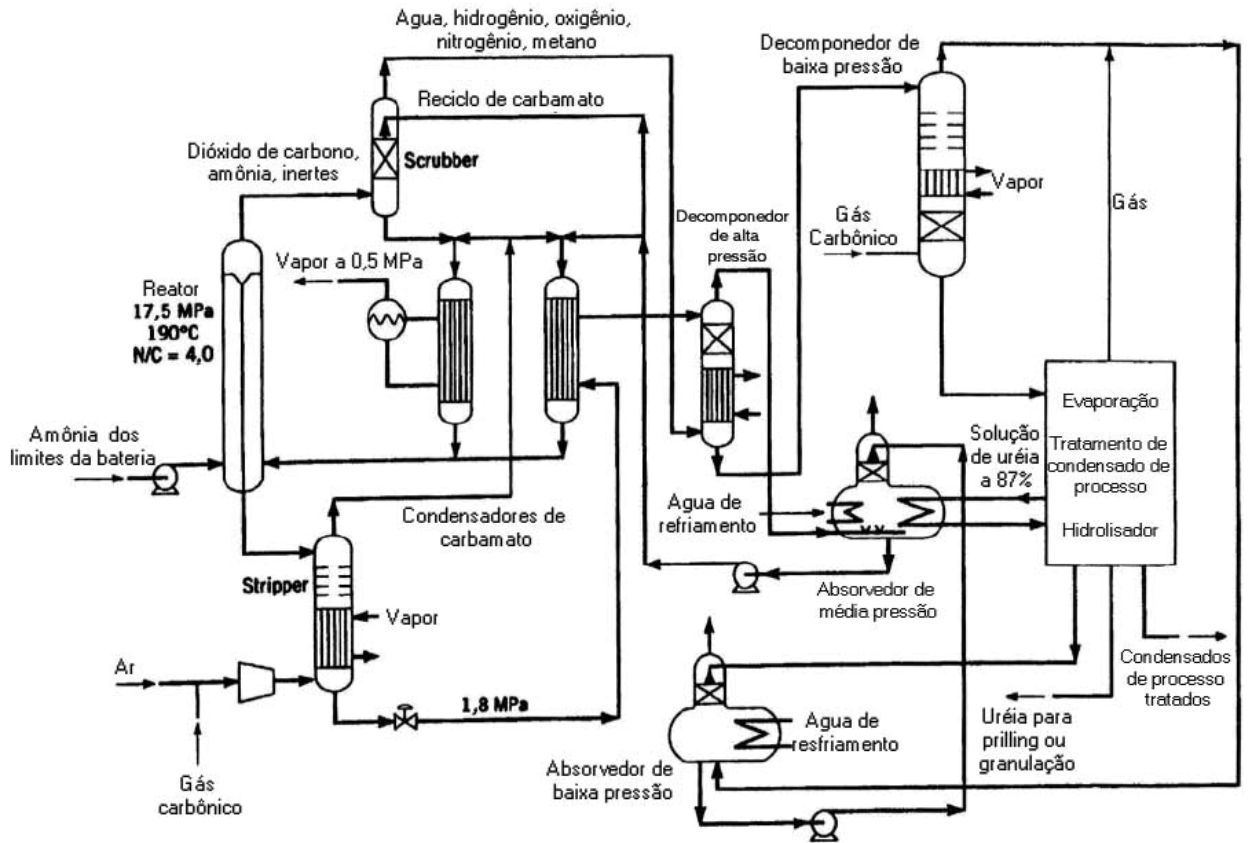


Figura 25 – Fluxograma de produção do processo Toyo

Fonte: Maxwell, 2005.

A Tabela 13 resume as principais características das tecnologias para produção de uréia descritas anteriormente.

Tabela 13 – Comparação de Tecnologias de Produção de Uréia

<p>Stamicarbon</p>	<p>NH₃ e CO₂ são convertidos em uréia via carbamato de amônio, numa pressão de 140 bar e à temperatura de 180°C a 185°C, sendo que os reagentes não convertidos passam por um stripping em contra-corrente com CO₂, sendo parcialmente condensados e reciclados ao gerador. O efluente do stripper é vaporizado num estágio de decomposição para formar o carbamato, que é então convertido em uréia. Consome menos eletricidade que os processos Toyo e Snamprogetti.</p>
<p>Toyo</p>	<p>Amônia líquida é alimentada diretamente no reator enquanto o CO₂ gasoso é mandado do compressor, no fundo do stripper. O efluente do reator passa por stripping e posteriormente é alimentado a dois condensadores de carbamato em paralelo. A solução de uréia que deixa o fundo do stripper é purificada ainda mais nos decomponedores de alta (17,5 bar) e baixa (2,5 bar) pressão.</p>
<p>Snamprogetti</p>	<p>NH₃ e CO₂ são convertidos à uréia via carbamato de amônio, a uma pressão de 150 a 160 bar e temperatura de 180 °C a 190 °C. O efluente do reator entra num stripper de filme cadente onde uma grande parte do carbamato não convertido é decomposto pela ação do excesso de NH₃. Carbamato residual e CO₂ são recuperados ao longo do stripper em dois estágios.</p>

Fonte: Elaboração própria a partir de Maxwell, 2005.

4.5 – Considerações

Este trabalho analisa a possibilidade de implantação de um pólo gás-químico de fertilizantes no país entre 2017 e 2019. Analisando as tendências de produção nacional contidas no **Anexo**, e considerando que a amônia é matéria-prima para todos os fertilizantes aqui analisados conclui-se que:

Observando a produção nacional, todos os fertilizantes nitrogenados pesquisados para este trabalho possivelmente não conseguirão suprir a demanda nacional entre 2017 e 2019.

A amônia, como fertilizante, produzida no País será o suficiente para suprir a demanda nacional entre 2017 e 2019, mas não será mais o suficiente se o pólo de fertilizantes for implantado, o que traz a necessidade de ela ser produzida dentro do próprio pólo, a partir do gás natural.

As quantidades de cada fertilizante requeridas para suprir a demanda nacional são muito grandes, forçando a escolha de tecnologias licenciadas que consigam produzir o máximo de produto em relação às concorrentes e que sejam mais concentradas. Assim, este estudo recomendaria as seguintes tecnologias:

- Para Amônia

A tecnologia Lurgi A.G. MegaAmmonia, que é empregada para plantas que produzem acima de 1 milhão de toneladas por dia, melhor do que as outras tecnologias, que têm capacidades entre 0,73 a 0,84 Mt/dia. Ela se utiliza de POX e ATR para gerar gás de síntese.

- Para Uréia

Stamicarbon, cujas plantas produzem mais de 3.000 toneladas por dia, e tem custo de utilidades menor do que suas concorrentes.

5. Análise Econômica

5.1 – Metodologia e Considerações

Devido à dificuldade na obtenção de dados de tecnologias patenteadas para fabricação de amônia e uréia, foram usadas para esta análise econômica apenas as seguintes tecnologias:

- Megammonia

Por ela ser capaz de produzir mais do que as outras tecnologias apresentadas, mais de 1,4 milhão t/ano de amônia, conseguiria suprir grande parte do que o mercado brasileiro demandará num futuro próximo. Esta tecnologia só usa eletricidade para partida, utilizando gás natural durante o restante do tempo de operação.

Dados sobre o consumo de água de processo para esta tecnologia não estavam disponíveis, mas como este é um custo muito pequeno frente aos demais, ele foi desprezado nesta análise. A capacidade da planta foi considerada como 1,8 milhão t/ano de amônia.

- Stamicarbon

Por ser a tecnologia que usa menos energia elétrica, resulta em menores custos de utilidades e, por isso, é a mais utilizada no mundo para fabricação de uréia. A capacidade da planta foi considerada como 1,05 milhão t/ano de uréia.

A análise de viabilidade foi feita considerando que serão construídas uma planta de amônia e uma de uréia, sendo estas integradas. Para efeitos de comparação, os cálculos também foram feitos para as plantas separadamente, sem integração, considerando que a planta de uréia não integrada usaria gás natural para gerar CO₂.

Para a planta de amônia utilizou-se o critério de Spitz (1988), para plantas de amônia, que considera que são necessários cinco homens por turno. Foram considerados cinco turnos para as plantas. Foram utilizados os critérios de Peters & Timmerhaus (1991) para os outros parâmetros, que estão indicados na análise. O prazo de depreciação foi considerado como quinze anos, baseado no método linear e para os custos fixos despesas como manutenção, impostos e seguros e outras gerais foram consideradas como 25% do valor da soma dos investimentos ISBL e OSBL.

Para os investimentos foram usadas as relações da **Tabela 14**. Foi considerado que os investimentos serão pagos com recursos próprios. Segundo Motta e Calôba (2002),

a seleção de projetos deve ser feita com base nos méritos próprios das alternativas, ou seja, de cada projeto por si só, sem considerar financiamentos. Quando se trabalha com alternativas de financiamento, o enfoque é buscar uma alavancagem financeira, ou seja, uma taxa de retorno superior a que seria alcançada utilizando apenas recursos próprios. Neste caso, realiza-se uma análise financeira do projeto, que não vem a ser o foco do presente trabalho, estando este restrito a uma análise econômica.

O prazo de implantação foi considerado como sendo de quatro anos, o prazo de vida útil operacional como quinze anos, o valor residual após este tempo como 20% do investimento fixo, a percentagem de receita líquida para vendas e parte administrativa como 1% para cada, gastos com tecnologia como 2% do valor anual dos custos de produção, impostos sobre lucro tributável como 35%, distribuição mínima de dividendos sobre o lucro líquido, com pagamento no exercício seguinte como 25%. Os custos de matérias-primas, utilidades e operadores no Brasil foram os considerados na **Tabela 15**. Na **Tabela 16** estão os valores calculados a partir dos dados dos detentores da tecnologia. O custo de capital³ foi considerado como 10%, e será utilizado como a Taxa Mínima de Atratividade para a presente análise.

Foi fixado que para cada tonelada de amônia gerada serão produzidas 0,583 toneladas de uréia na outra planta. Pelos coeficientes técnicos, é possível perceber que são geradas 1,4 toneladas de gás carbônico por tonelada de amônia produzida, enquanto para se produzir uma tonelada de uréia são necessárias apenas 0,73 toneladas dele. As plantas de amônia geralmente não usam ou vendem este excedente de gás carbônico, a menos que estejam integradas a plantas de uréia. Nesta análise será considerado que este excedente de 0,67 toneladas não é vendido ou usado, e no caso da análise da planta de amônia não integrada será considerado que este gás carbônico não será usado.

As plantas começarão a operar com 75% da capacidade, com crescimento de 5% ao ano, com produção voltada apenas para o mercado nacional.

³ O *custo de capital* para um investimento é um custo de oportunidade: é a taxa de retorno esperada que os investidores num projeto conseguem ganhar no mercado de capitais sobre outros investimentos de risco similares.

Tabela 14 – Relações de Investimento

	Relações
Investimentos na unidade de processo - ISBL	I_1
Unidades externas - OSBL	$I_2 = 0,4 I_1$
Total das unidades industriais	$I_1 + I_2$
Engenharia	$I_3 = 0,12 (I_1 + I_2)$
Peças de reposição	$I_4 = 0$
Custo da Tecnologia ("royalties", manual de operação)	$I_5 = 0,10 (I_1 + I_2)$
Investimento na fábrica	$I_f = \text{Soma } (I_1 \text{ até } I_5)$
Carga inicial de catalisadores, solventes, peneiras moleculares etc	I_6
Juros do financiamento ao investimento fixo	$I_7 = 0$
Partida	$I_8 = 3 \text{ meses de custo variável anual mais operadores menos matérias-primas}$
Investimento fixo (depreciável)	$IF = \text{Soma } (I_1 \text{ até } I_8)$
Capital de giro	$CG = 2 I_8 + \text{metais preciosos}$
Investimento total	$IT = IF + CG$

Fonte: Chauvel & Lefebvre, 1989.

Tabela 15 – Relação dos Custos Utilizados

	Custo	Fonte
Amônia (mercado interno)	306,59 US\$/t	Alice, 2008
Gás carbônico (mercado interno)	95,14 US\$/t	Alice, 2008
Uréia (mercado interno)	613,73 US\$/t	Alice, 2008
Gás Natural	0,4545 US\$/m ³	CEG Industrial, 2008
Água de processo	0,03 US\$/t	Chauvel & Lefebvre, 1989
Salário de operador	44952 US\$/ano	ABIQUIM, 2008
Eletricidade	0,06 US\$/kWh	Chauvel & Lefebvre, 1989
Vapor	19,41 US\$/t	Chauvel & Lefebvre, 1989

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da literatura.

Tabela 16 – Valores dos Investimentos, Baseados na Tabela 11

Investimentos	Planta de Amônia - Megammonia (10⁶ US\$)	Planta de Uréia - Stamicarbon (10⁶ US\$)
I₁	660,00	156,14
I₂	440,00	104,09
I₁ + I₂	1.100,00	260,23
I₃	132,00	31,23
I₄	0,00	0,00
I₅	110,00	26,02
I_f	1.342,00	317,48
I₆	0,00	0,00
I₇	0,00	0,00
I₈	13,73	6,38
IF	1.476,51	323,86
CG	27,46	12,77
IT	1.503,98	336,63

Fonte: Elaboração Própria a Partir de Lurgi e Stamicarbon, 2008.

5.2 Resultados e Discussões

Na **Tabela 17** está a análise de custos fixos e variáveis das duas plantas em conjunto, na **Tabela 18** está a análise de custos fixos e variáveis da planta de amônia sem integração com a de uréia, e na **Tabela 19** está a análise de custos fixos e variáveis da planta de uréia sem integração com a de amônia. Foi considerado para a **Tabela 18** que a planta não utiliza o gás carbônico gerado.

Foram feitas também as análises de fluxo de caixa para todas as alternativas, e os resultados estão nas **Tabelas 20, 21 e 22**.

Tabela 17 – Análise das Plantas em Conjunto

CUSTOS VARIÁVEIS	Coeficientes Técnicos	Custo por Tonelada de Produto Produzido (US\$/t)	Custo por Ano à Capacidade Máxima (10 ⁶ US\$)
Matérias-primas e utilidades			
- Planta de amônia			
Gás Natural	0,84 m ³ /t	0,38	0,69
Vapor	1,54 t/t	29,89	53,80
Subtotal		30,27	54,49
- Planta de uréia			
Gás Carbônico	0,73 t/t	69,45	72,92
Amônia	0,56 t/t	172,92	181,56
Eletricidade	65,00 t/t	3,90	4,10
Água de resfriamento	66,00 t/t	1,98	2,08
Vapor	0,90 t/t	17,37	18,24
Subtotal		265,62	278,90
Subprodutos e consumo de produtos gerados internamente			
- Planta de amônia			
Gás Carbônico	= (1,4-0,67) = 0,73 t/t	69,45	72,92
Amônia	0,56 t/t	172,92	181,56
- Planta de uréia			
Água	0,30 t/t	0,02	0,02
Subtotal		119,08	306,59
Total		53,51	78,89

Fonte: Elaboração própria

Tabela 17 – Análise das Plantas em Conjunto (Continuação)

CUSTOS FIXOS	Custo por Ano à Capacidade Máxima (10⁶ US\$)
Custos fixos caixa	
Operadores	1,12
- Planta de amônia Manutenção, impostos e seguros, despesas gerais	275,00
- Planta de uréia Manutenção, impostos e seguros, despesas gerais	65,06
Total dos custos fixos caixa	341,18
Custos fixos não-caixa	
- Planta de amônia Depreciação do IF em 15 anos	90,83
- Planta de uréia Depreciação do IF em 15 anos	21,70
Total Custos Fixos	45260
CUSTO TOTAL	531,05

Fonte: Elaboração Própria a Partir de Lurgi e Stamicarbon, 2008.

Tabela 18 – Análise da Planta de Amônia sem Integração com Planta de Uréia

CUSTOS VARIÁVEIS	Coefficientes Técnicos	Custo por Tonelada de Produto Produzido (US\$/t)	Custo por Ano à Capacidade Máxima (10⁶ US\$)
Matérias-primas e utilidades			
- Planta de amônia			
Gás Natural	0,84 m ³ /t	0,38	0,69
Vapor	1,54 t/t	29,89	53,8
Subtotal		30,27	54,49
Total		30,27	54,49
CUSTOS FIXOS			
Custos fixos caixa			
Operadores			1,12
- Planta de amônia			
Manutenção, impostos e seguros, despesas gerais			275
Total dos custos fixos caixa			276,12
Custos fixos não-caixa			
- Planta de amônia			
Depreciação do IF em 15 anos			98,93
Total Custos Fixos			375,05
CUSTO TOTAL			429,54

Fonte: Elaboração Própria a Partir de Lurgi, 2008.

Tabela 19 – Análise da Planta de Uréia sem Integração com Planta de Amônia

CUSTOS VARIÁVEIS	Coefficientes Técnicos	Custo por Tonelada de Produto Produzido (US\$/t)	Custo por Ano à Capacidade Máxima (10⁶ US\$)
Matérias-primas e utilidades			
- Planta de uréia			
Gás Natural	0,44 m ³ /t	0,2	0,21
Amônia	0,56 t/t	172,92	181,56
Eletricidade	65,00 t/t	3,90	4,10
Água de resfriamento	66,00 t/t	1,98	2,08
Vapor	0,90 t/t	17,37	18,24
Subtotal		196,36	278,90
Subprodutos e consumo de produtos gerados internamente			
- Planta de uréia			
Água	0,30 t/t	0,02	0,02
Subtotal		0,02	0,02
Total		265,61	206,178
CUSTOS FIXOS			
Custos fixos caixa			
Operadores			1,12
- Planta de uréia			
Manutenção, impostos e seguros, despesas gerais			65,06
Total dos custos fixos caixa			66,18
Custos fixos não-caixa			
- Planta de uréia			
Depreciação do IF em 15 anos			21,70
Total Custos Fixos			87,90
CUSTO TOTAL			294,06

Fonte: Elaboração Própria a Partir de Stamicarbon, 2008.

Tabela 20 – Análise de Fluxo de Caixa das Duas Plantas Integradas

Etapas \ Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Distribuição dos Desembolsos do IF durante a implantação																			
Distribuição percentual	10%	30%	40%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Valor em milhões de dólares	167,96	503,88	671,84	335,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desembolso do CG, um período antecipado, proporcional a variação do nível de utilização da capacidade																			
Variação da utilização	0%	0%	0%	75%	5%	5%	5%	5%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Valor em milhões de dólares	0,00	0,00	0,00	30,18	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Projeção do Fluxo de Caixa - Valores em milhões de dólares																			
1. Entradas	0,00	0,00	0,00	0,00	413,90	441,49	469,08	496,68	524,27	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86
1.1 Receita de vendas	0,00	0,00	0,00	0,00	413,90	441,49	469,08	496,68	524,27	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86
1.2 Financiamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2. Saídas	167,96	503,88	671,84	395,96	516,65	536,23	555,81	575,39	594,98	612,55	612,55	612,55	612,55	612,55	612,55	612,55	612,55	612,55	612,55
2.1 Custos de Produção	0,00	0,00	0,00	0,00	400,36	404,31	408,25	412,20	416,14	420,09	420,09	420,09	420,09	420,09	420,09	420,09	420,09	420,09	420,09
2.1.1 Variáveis	0,00	0,00	0,00	0,00	59,18	63,13	67,07	71,02	74,96	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91
Matérias-primas:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,55	0,58	0,62	0,65	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
Utilidades:	0,00	0,00	0,00	0,00	58,66	62,58	66,49	70,40	74,31	78,22	78,22	78,22	78,22	78,22	78,22	78,22	78,22	78,22	78,22
2.1.2 Fixos	0,00	0,00	0,00	0,00	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18
Caixa	0,00	0,00	0,00	0,00	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18	341,18
2.1.3 Tecnologia	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
2.2 Despesas	0,00	0,00	0,00	0,00	15,24	16,26	17,27	18,29	19,30	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32
2.2.1 Vendas	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62	8,13	8,64	9,14	9,65	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
2.2 Administrativas	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62	8,13	8,64	9,14	9,65	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
2.4 Investimento	167,96	503,88	671,84	335,92	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.4.1 Investimento Fixo	167,96	503,88	671,84	335,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.4.2 Capital de Giro	0,00	0,00	0,00	30,18	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.5 Impostos diretos	0,00	0,00	0,00	0,00	99,04	113,66	128,28	142,90	157,52	172,14	172,14	172,14	172,14	172,14	172,14	172,14	172,14	172,14	172,14

Tabela 20 – Análise de Fluxo de Caixa das Duas Plantas Integradas (Continuação)

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
3. Recuperação do Capital																			40,23	
3.1 Valor residual																			0,00	
3.2 Capital de giro																			40,23	
4. Saldo	-167,96	-503,88	-671,84	-335,92	245,35	276,57	307,79	339,01	370,23	403,46	403,46	403,46	403,46	403,46	403,46	403,46	403,46	403,46	403,46	443,69
Taxa Interna de Retorno	14,56%	a.a.																		
Custo de Capital	10,0%	a.a.																		
Valor Presente Líquido	504,12	10⁶US\$																		

Fonte: Elaboração Própria, 2008.

Tabela 21 – Análise de Fluxo de Caixa da Planta de Uréia Não Integrada com a de Amônia

Etapas	Ano																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Distribuição dos Desembolsos do IF durante a implantação																			
Distribuição percentual	10%	30%	40%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Valor em milhões de dólares	32,39	97,16	129,54	64,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desembolso do CG, um período antecipado, proporcional a variação do nível de utilização da capacidade																			
Variação da utilização	0%	0%	0%	75%	5%	5%	5%	5%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Valor em milhões de dólares	0,00	0,00	0,00	9,58	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Projeção do Fluxo de Caixa - Valores em milhões de dólares																			
1. Entradas	0,00	0,00	0,00	0,00	483,32	515,54	547,76	579,98	612,20	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43
1.1 Receita de vendas	0,00	0,00	0,00	0,00	483,32	515,54	547,76	579,98	612,20	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43	644,43
1.2 Financiamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2. Saídas	32,39	97,16	129,54	64,77	449,72	467,70	485,68	503,67	521,65	539,00	539,00	539,00	539,00	539,00	539,00	539,00	539,00	539,00	539,00
2.1 Custos de Produção	0,00	0,00	0,00	0,00	430,76	441,07	451,38	461,69	472,00	482,31	482,31	482,31	482,31	482,31	482,31	482,31	482,31	482,31	482,31
2.1.1 Variáveis	0,00	0,00	0,00	0,00	154,64	164,95	175,26	185,57	195,88	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19
Matérias-primas:	0,00	0,00	0,00	0,00	136,33	145,42	154,51	163,60	172,68	181,77	181,77	181,77	181,77	181,77	181,77	181,77	181,77	181,77	181,77
Utilidades:	0,00	0,00	0,00	0,00	18,31	19,53	20,75	21,97	23,19	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41
2.1.2 Fixos	0,00	0,00	0,00	0,00	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12
Caixa	0,00	0,00	0,00	0,00	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12	276,12
2.1.3 Tecnologia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
2.2 Despesas	0,00	0,00	0,00	0,00	9,67	10,31	10,96	11,60	12,24	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89
2.2.1 Vendas	0,00	0,00	0,00	0,00	4,83	5,16	5,48	5,80	6,12	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44
2.2 Administrativas	0,00	0,00	0,00	0,00	4,83	5,16	5,48	5,80	6,12	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44
2.4 Investimento	32,39	97,16	129,54	64,77	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.4.1 Investimento Fixo	32,39	97,16	129,54	64,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.4.2 Capital de Giro	0,00	0,00	0,00	9,58	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.5 Impostos diretos	0,00	0,00	0,00	0,00	8,65	15,68	22,71	29,74	36,77	43,80	43,80	43,80	43,80	43,80	43,80	43,80	43,80	43,80	43,80

Tabela 21 – Análise de Fluxo de Caixa da Planta de Uréia Não Integrada com a de Amônia (Continuação)

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
3. Recuperação do Capital																			83,26	
3.1 Valor residual																			70,49	
3.2 Capital de giro																			12,77	
4. Saldo	-32,39	-97,16	-129,54	-64,77	33,60	47,84	62,08	76,31	90,55	105,43	105,43	105,43	105,43	105,43	105,43	105,43	105,43	105,43	105,43	188,68
Taxa Interna de Retorno	17,06%	a.a.																		
Custo de Capital	10,0%	a.a.																		
Valor Presente Líquido	180,01	10⁶US\$																		

Fonte: Elaboração Própria, 2008.

Tabela 22 – Análise de Fluxo de Caixa da Planta de Amônia Não Integrada com a de Uréia

Etapas \ Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Distribuição dos Desembolsos do IF durante a implantação																			
Distribuição percentual	10%	30%	40%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Valor em milhões de dólares	135,57	406,72	542,29	271,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desembolso do CG, um período antecipado, proporcional a variação do nível de utilização da capacidade																			
Variação da utilização	0%	0%	0%	75%	5%	5%	5%	5%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Valor em milhões de dólares	0,00	0,00	0,00	20,60	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Projeção do Fluxo de Caixa - Valores em milhões de dólares																			
1. Entradas	0,00	0,00	0,00	0,00	413,90	441,49	469,08	496,68	524,27	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86
1.1 Receita de vendas	0,00	0,00	0,00	0,00	413,90	441,49	469,08	496,68	524,27	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86	551,86
1.2 Financiamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2. Saídas	135,57	406,72	542,29	271,15	214,84	226,21	237,58	248,96	260,33	270,33	270,33	270,33	270,33	270,33	270,33	270,33	270,33	270,33	270,33
2.1 Custos de Produção	0,00	0,00	0,00	0,00	107,05	109,77	112,50	115,22	117,95	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67
2.1.1 Variáveis	0,00	0,00	0,00	0,00	40,87	43,59	46,32	49,04	51,77	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49
Matérias-primas:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,55	0,58	0,62	0,65	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
Utilidades:	0,00	0,00	0,00	0,00	40,35	43,04	45,73	48,42	51,11	53,80	53,80	53,80	53,80	53,80	53,80	53,80	53,80	53,80	53,80
2.1.2 Fixos	0,00	0,00	0,00	0,00	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18
Caixa	0,00	0,00	0,00	0,00	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18	66,18
2.1.3 Tecnologia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
2.2 Despesas	0,00	0,00	0,00	0,00	8,28	8,83	9,38	9,93	10,49	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04
2.2.1 Vendas	0,00	0,00	0,00	0,00	4,14	4,41	4,69	4,97	5,24	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52
2.2 Administrativas	0,00	0,00	0,00	0,00	4,14	4,41	4,69	4,97	5,24	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52
2.4 Investimento	135,57	406,72	542,29	271,15	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.4.1 Investimento Fixo	135,57	406,72	542,29	271,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.4.2 Capital de Giro	0,00	0,00	0,00	20,60	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.5 Impostos diretos	0,00	0,00	0,00	0,00	98,14	106,23	114,33	122,43	130,53	138,62	138,62	138,62	138,62	138,62	138,62	138,62	138,62	138,62	138,62

Tabela 22 – Análise de Fluxo de Caixa da Planta de Amônia Não Integrada com a de Uréia (Continuação)

Etapas	Ano																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
3. Recuperação do Capital																			322,77	
3.1 Valor residual																			295,30	
3.2 Capital de giro																			27,46	
4. Saldo	-135,57	-406,72	-542,29	-271,15	199,06	215,28	231,50	247,72	263,94	281,53	281,53	281,53	281,53	281,53	281,53	281,53	281,53	281,53	281,53	604,30
Taxa Interna de Retorno	13,47%	a.a.																		
Custo de Capital	10,0%	a.a.																		
Valor Presente Líquido	723,78	10⁶US\$																		

Fonte: Elaboração Própria, 2008.

Foram feitos os gráficos de nivelamento para as combinações possíveis de plantas, e seus resultados estão nas **Figuras 26, 27 e 28**.

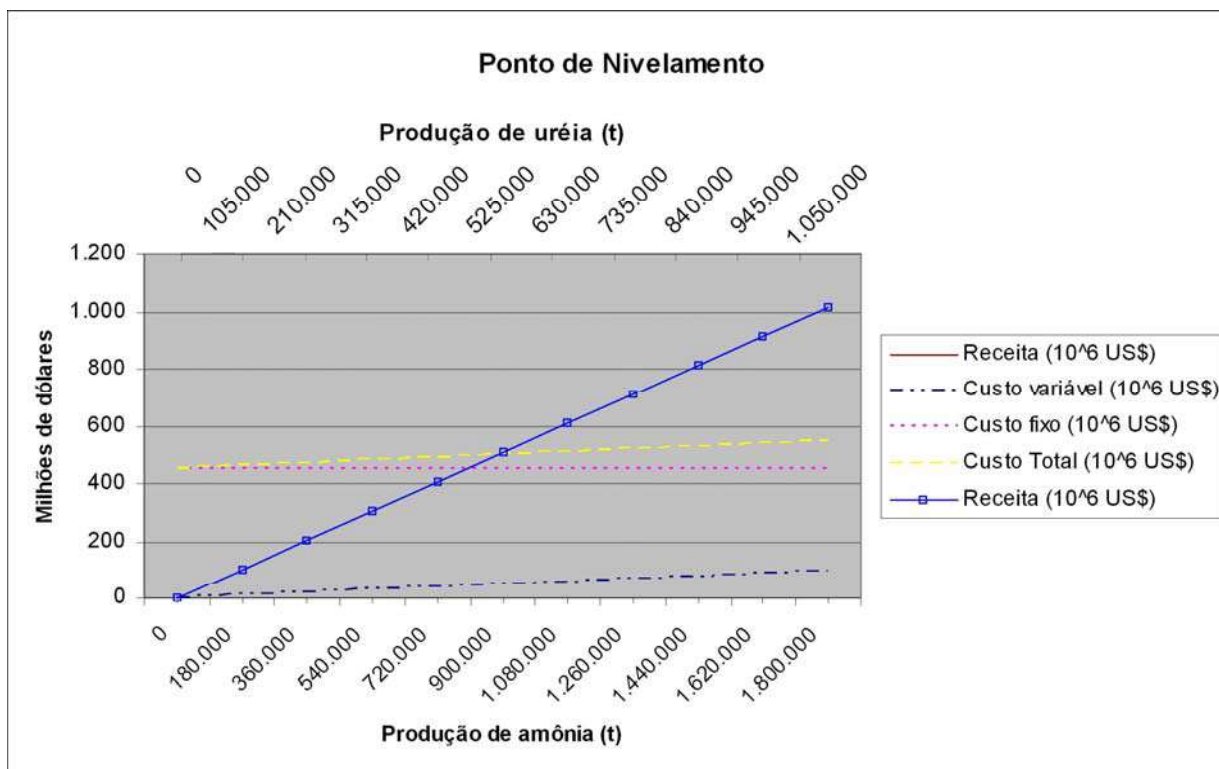


Figura 26 – Ponto de Nivelamento das Duas Plantas Integradas

Fonte: Elaboração Própria, 2008.

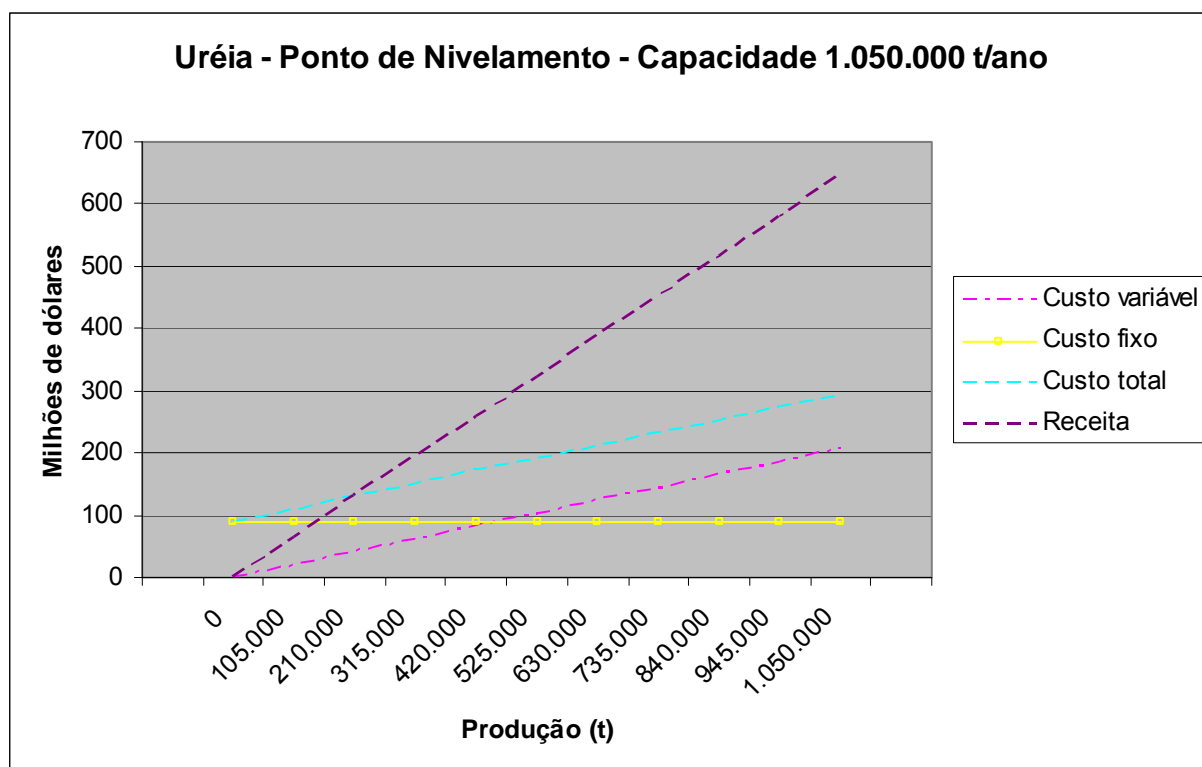


Figura 27 – Ponto de Nivelamento da Planta de Uréia Não Integrada à de Amônia

Fonte: Elaboração Própria, 2008.

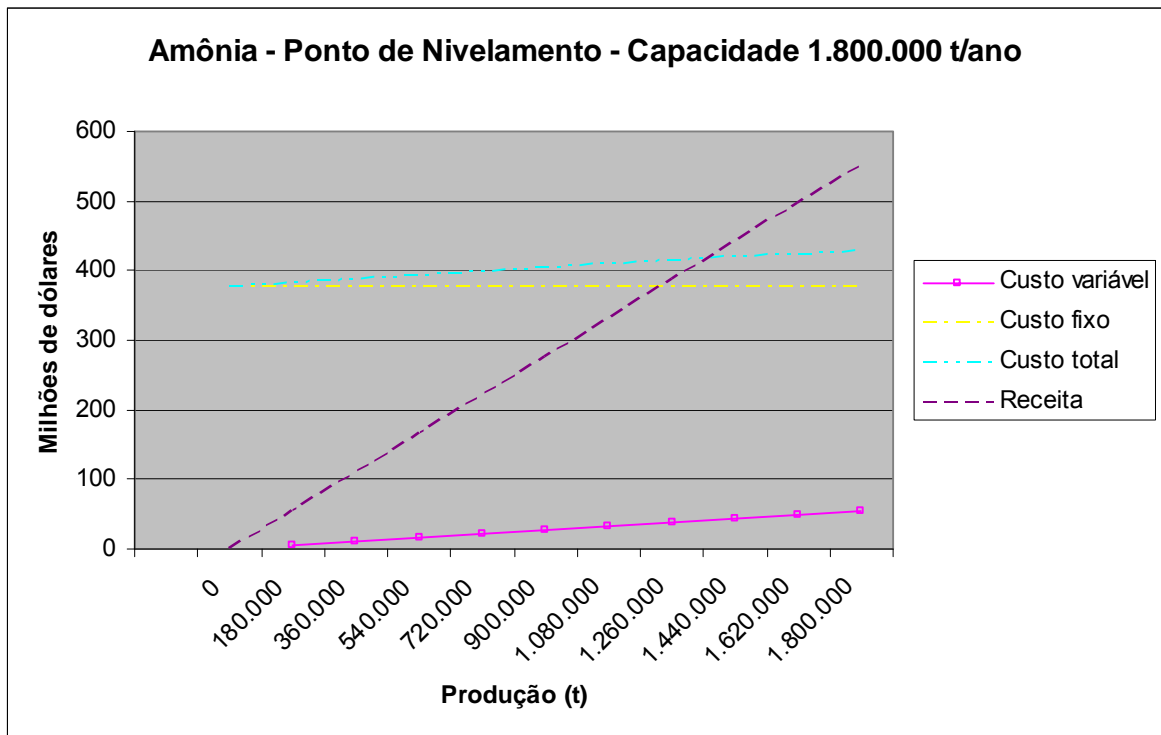


Figura 28 – Ponto de Nivelamento da Planta de Amônia Não Integrada à de Uréia
 Fonte: Elaboração Própria, 2008.

Percebe-se claramente que a planta de amônia sozinha tem um alto ponto de nivelamento, devido principalmente ao investimento, e apenas este fato já torna o investimento inviável, caso não houvesse a integração com a planta de uréia.

Já a planta de uréia sem integração com a de amônia tem um excelente ponto de nivelamento, e a análise de fluxo de caixa mostra que sua T.I.R. é de 17,06% a.a, um valor maior que o custo de capital e que justifica o investimento.

Para as duas plantas integradas, o ponto de nivelamento se mostra bom, por volta de metade da capacidade total, e sua T.I.R, de 14,56 % a.a. é maior que o custo de capital e justifica o investimento, viabilizando inclusive a produção de amônia.

5.2.1 Análise de Sensibilidade

Até o presente momento, foi desenvolvida uma análise utilizando um método determinístico, ou seja, todo o raciocínio foi desenvolvido considerando que as variáveis do projeto tinham seus valores determinados. No entanto, estes valores são os esperados e estão submetidos às limitações das técnicas de estimativa e à

evolução do ambiente econômico. Assim, todos os resultados obtidos estão sujeitos a uma ressalva: são válidos desde que os valores esperados das variáveis do projeto se confirmem.

Desta forma, torna-se interessante a realização de uma análise de sensibilidade, de forma a perceber quais seriam as variáveis do projeto que mais afetam a rentabilidade do projeto. O objetivo da análise é identificar os fatores cruciais do projeto sobre os quais serão necessários controles especiais durante sua implantação e operação ou um maior rigor nas estimativas em fases mais avançadas do estudo.

Para desenvolver a análise de sensibilidade são realizadas variações otimistas e pessimistas das variáveis escolhidas, uma de cada vez e observado o efeito gerado na T.I.R.

Para o presente estudo, optou-se por analisar a sensibilidade do projeto aos seguintes fatores: preço do gás natural, preço da amônia, preço da uréia e investimento fixo. Os três primeiros fatores são aqueles mais diretamente ligados ao ambiente econômico e o último aparece como uma variável de grande impacto, sendo inclusive o responsável pela inviabilidade da implantação da planta de amônia isoladamente. Foram feitas variações percentuais de decréscimos e acréscimos de 10, 20 e 30% sobre o valor inicial estimado.

A **Figura 29** apresenta os resultados encontrados.

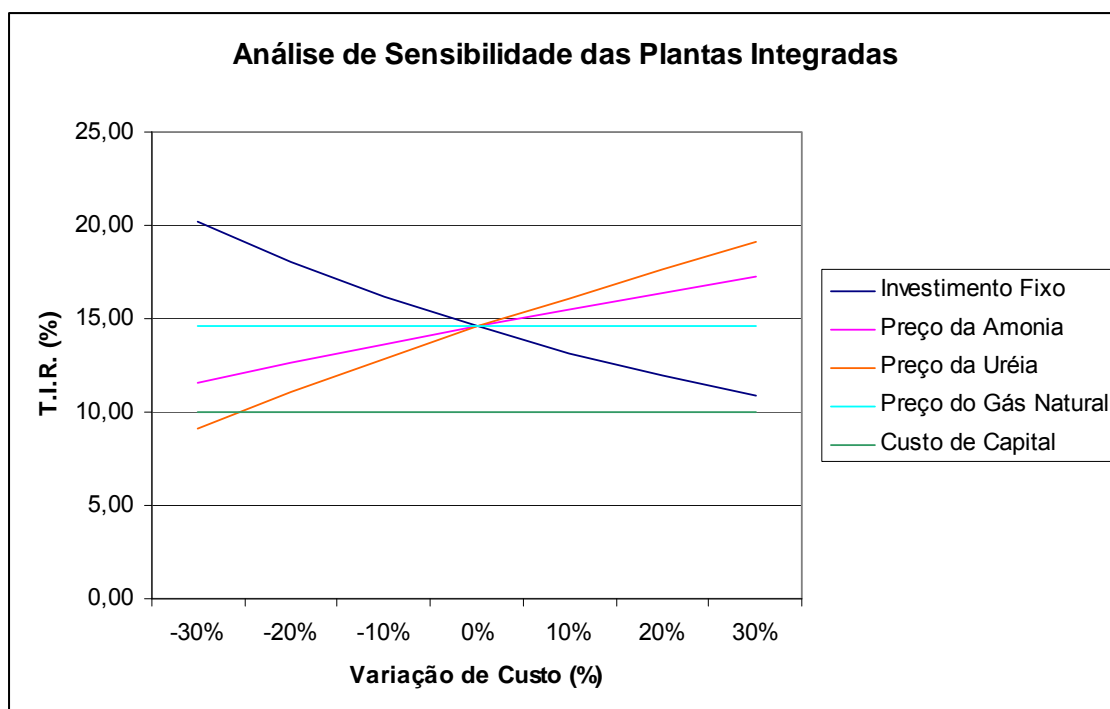


Figura 29 - Ponto de Nivelamento da Planta Integrada com Decréscimos e Acréscimos de 10, 20 e 30% sobre o Valor Inicial Estimado

Fonte: Elaboração Própria, 2008.

Para a análise de sensibilidade foram utilizados os valores de FOB para amônia e uréia. O preço do GN foi estimado a partir dos valores praticados pela CEG, para clientes industriais, no estado do Rio de Janeiro. Desta forma, os valores encontrados são apenas uma base, pois, na realidade, os valores precisos são um pouco maiores. Contudo, foi possível ter uma idéia da atratividade do negócio em relação a variações sobre as variáveis analisadas.

Separadamente, variações no preço, para mais e para menos da matéria-prima, gás natural, do investimento fixo e da amônia não afetam significativamente a T.I.R., a ponto de ele ficar abaixo do custo de capital. O custo do investimento fixo aumentado em 30% ainda gera uma T.I.R. de 10,86% a.a., acima do custo de capital.

A uréia, contudo, tem uma forte influência sobre a sensibilidade do projeto, sendo, portanto, uma variável crucial para a viabilidade do projeto. Uma redução de 20% no seu preço, faz a T.I.R. e o custo de capital praticamente já se igualarem, inviabilizando o projeto para qualquer redução maior do que esta.

Sendo assim, as possíveis variações de custo que inviabilizariam o projeto seriam o aumento do investimento fixo e/ou o decréscimo do preço da uréia.

Conclusões

Com o crescente aumento da dependência externa que a agricultura brasileira em relação aos fertilizantes e a grande percentagem do PIB brasileiro relativo à agricultura, além do fato dos preços aos consumidores finais acompanharem a escalada dos custos das matérias-primas, ficou claro que, dos produtos analisados, amônia e uréia deveriam ser estudadas neste projeto.

A análise das tecnologias de produção desses dois produtos mostrou que as melhores, no sentido de maior capacidade de produção e menor consumo de utilidades, eram a Lurgi A.G. MegaAmmonia, para a amônia, e a Stamicarbon, para a uréia.

Com os cálculos realizados para a análise econômica com base em informações enviadas por funcionários das empresas detentoras dos processos, foi possível observar a forte influência do câmbio no preço da amônia e da uréia. Por isso, é possível imaginar a economia de divisas ao país proporcionada pela redução das importações.

Através dos cálculos também foi possível concluir que seria necessário uma produção em grande escala e integrada, para viabilizar o retorno dos investimentos em um prazo aceitável. Não obstante, a análise de sensibilidade demonstrou uma maior dependência da TIR com o preço de venda da uréia.

Desta forma, se for possível demonstrar a disponibilidade de gás natural em condições de competitividade em relação ao mercado internacional de fertilizantes nitrogenados, um empreendimento como o sugerido poderia encontrar investidores interessados em instalá-lo no Brasil.

Referências Bibliográficas

_____ ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química. Anuário da Indústria Química Brasileira. São Paulo, 2008.

_____ ABIQUIM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Publicações. 2005. Site oficial: <www.abiquim.org.br> Acesso em dezembro de 2007.

_____ AGE-MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio: Brasil. Brasília, 2008.

_____ Rede Alice Web – Base de Dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio. Site oficial: <www.aliceweb.desenvolvimento.gov.br> Acesso em novembro de 2008.

_____ ANDA - Associação Nacional para a Difusão de Adubos. Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes. São Paulo, 2007.

_____ ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Estatísticas 2008. Site oficial: <www.anda.org.br> Acesso em: julho de 2008.

_____ ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Fertilizantes Entregues ao Consumidor Final. São Paulo, 2007.

_____ BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Taxa de Juros de Longo Prazo – TJLP. Site Oficial <<http://www.bndes.gov.br/produtos/custos/juros/tjlp.asp>> Acesso em dezembro de 2008.

_____ CARTA FERTILIZANTES Edição 040 - 17/12/2007 CENPES GTEC / ITPI

CHAUVEL, A., FOURNIER, G. e RAIMBAULT, C. Manual of Process Economic Evaluation. Ed. Technip. Paris, 2003.

Coogee Chemicals Ltd. Site oficial: <www.coogee.com.au> Acesso em agosto de 2008.

DUTRA, L. E. D. e Lopes, C. A. Gás Natural como Matéria-Prima. Revista Energia Brasil , n. 315, p. 65. Rio de Janeiro, fevereiro/2007.

_____ FOSFERTIL. Comunicado. Site oficial: <www.fosfertil.com.br/.../relInvestidores/aSocietarios/comunicados/docs/FATO%20RELEVANTE%2015%2012.pdf> Acesso em: janeiro de 2008.

GEROSA, T. M. O Estudo da Utilização do Gás Natural como Insumo para a Indústria Química e Petroquímica: Modelagem de uma Planta Gás-Química Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo, 2007.

_____ Gas Energy. Site oficial: <www.gasenergy.com.br> Acesso em setembro de 2008.

_____ Gas Processes: Hydrocarbon Processing - Handbook 2004 - Gulf Publishing Company, 2004.

_____ ICIS - International Chemical Information Service. Site oficial <www.icis.com> Acesso em julho de 2008.

_____ IFA e UNEP - O Uso de Fertilizantes Minerais e o Meio Ambiente. IFA (International Fertilizer Industry Association) e UNEP (United Nations Environment Programme). Tradução: ANDA. Paris, 2000.

LIMA, M.A.; SCHMIDT, C. A. J. Índices de Concentração. 2002. Site oficial: <http://www.seae.fazenda.gov.br/central_documentos/documento_trabalho/2002-1/doctrab13.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2008.

_____ Lurgi AG - Mega Ammonia Process. Site oficial: <http://www.lurgi.com/website/fileadmin/user_upload/pdfs/09_Ammoniak-E.pdf> Acesso em outubro de 2008.

MAXWELL, G. R.. Synthetic Nitrogen Products - A Guide to the Products and Processes - KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS. New York, 2005.

MONTENEGRO, R.S.P e MONTEIRO, D.C. Estratégia de Integração Vertical e os Movimentos de Reestruturação nos Setores Petroquímico e de Fertilizantes. BNDES Setorial. Rio de Janeiro, março/1997.

MONTENEGRO, R., S.P; PAN, S., S.K. Gás Natural como Matéria-Prima para a Produção de Eteno no Estado do Rio de Janeiro; Banco Nacional de Desenvolvimento – BNDES Setorial, no 12, p. 135-160. Rio de Janeiro, setembro/2000.

MOTTA, R. R. e CALÔBA, G. M. Análise de Investimentos: Tomada de Decisão para Projetos Industriais. 2. ed. v. 1. 390 p. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

_____ Petrobras – Plano Estratégico 2007-2011, Rio de Janeiro, 2007.

_____ Petrobras – Carta Fertilizantes – Edição 052, Rio de Janeiro, 15 de julho de 2008.

_____ PENZA/FIA/FEA/USP (2002). Complemento do Relatório sobre o Setor de fertilizantes contido na página 154 do Relatório Final enviado em novembro de 2000. (Programa de Estudos dos Negócios do Sistema Agroindustrial). FEA: São Paulo.

PEREIRA JUNIOR, A. O. Potencial de Consumo de Gás Natural no Brasil na Indústria Brasileira de Fertilizantes: Perspectivas até 2015 - Relatório feito para a Petrobras. Rio de Janeiro, 2003.

PETERS, M. S.; TIMMERHAUS, K. D., Plant Design and Economics for Chemical Engineers. 4th. ed. – McGraw-Hill, 973 p. New York, 1991.

_____ RioPol – Rio Polímeros S.A. Site oficial: <www.riopol.com.br> Acesso em junho de 2008.

Spitz, P. H. Petrochemicals: The rise of an industry. Wiley-Interscience. New York, 1988.

TAGLIALEGNA, G.H.F.; PAES LEME, M.F. e SOUSA, E.L.L. Concentration of the Brazilian Fertilizer Industry and Company Strategies. IAMA Congress, Sidney, 2001.

Anexo

Metodologia de Análise dos Pré-Selecionados

Para cada produto químico inicialmente considerado potencial candidato ao estudo, foram feitos gráficos de Consumo Interno Aparente contra PIB e de Exportação contra PIB Mundial, desde 1996 até 2006. Os dados de PIB brasileiro e mundial estão na **Tabela A.1**. As projeções do PIB foram feitas pelo IBGE, no caso de PIB brasileiro e Banco Mundial, no caso do PIB mundial. Os dados referentes à produção, importação e exportação de cada um dos produtos foram retirados dos Anuários da Abiquim.

Adicionalmente, foram feitos gráficos de produção, importação e exportação por ano e de consumo interno aparente e capacidade nacional instalada por ano, com estimativas até 2020, considerando os projetos de expansão já planejados. As estimativas de consumo interno aparente foram feitas criando-se uma linha de tendência a partir de seus valores de 1996 a 2006, retirando-se os pontos que estavam exageradamente distantes da linha de tendência.

Este procedimento foi realizado de forma a comparar a oferta e demanda no longo prazo e selecionar os produtos que apresentarem demanda não atendida.

A partir deles foi estimado o crescimento até 2020 e com isto analisou-se se haverá falta do produto.

Tabela A.1 – PIB Brasileiro e PIB Mundial de 1996 a 2020, com Estimativas a partir de 2008

Ano	PIB Brasileiro (10 ⁶ R\$)	PIB Mundial - Paridade de Poder e Compra (10 ⁶ US\$)
1996	1.885.815	33.696.372,00
1997	1.949.467	35.669.955,00
1998	1.950.156	36.960.936,00
1999	1.955.111	38.800.878,00
2000	2.039.302	41.556.691,00
2001	2.066.080	43.495.362,00
2002	2.120.998	45.296.721,00
2003	2.145.318	47.901.593,00
2004	2.267.865	51.673.942,00
2005	2.339.522	55.541.215,00
2006	2.427.371	60.209.862,00
2007	2.558.821	61.169.889
2008	2.682.157	63.451.082
2009	2.793.466	65.816.148
2010	2.799.761	68.268.125

Ano	PIB Brasileiro (10 ⁶ R\$)	PIB Mundial - Paridade de Poder e Compra (10 ⁶ US\$)
2011	2.918.751	70.810.163
2012	3.046.301	73.445.521
2013	3.183.384	76.177.577
2014	3.326.637	79.009.828
2015	3.476.335	81.945.895
2016	3.632.770	84.989.531
2017	3.796.245	88.144.619
2018	3.967.076	91.415.183
2019	4.145.594	94.805.388
2020	4.332.146	98.319.549

Fonte: Elaboração Própria, a partir de IBGE e Banco Mundial, 2008.

A.1 – Amônia

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.1, A.2 e A.3**.

A capacidade instalada em 2007 foi de 1.549.660 t/ano, e o destino das vendas internas foi de 60,2% para fertilizantes, 35,5% para processos químicos e 4,3% como intermediário químico (ABIQUIM, 2008). Ela deverá atingir um patamar de 1.843.000 t/ano em 2012, caso seja instalada a Unidade Fertilizantes III pretendida pela Petrobras, mas, ainda assim, não haverá capacidade suficiente no País para suprir a demanda nacional.

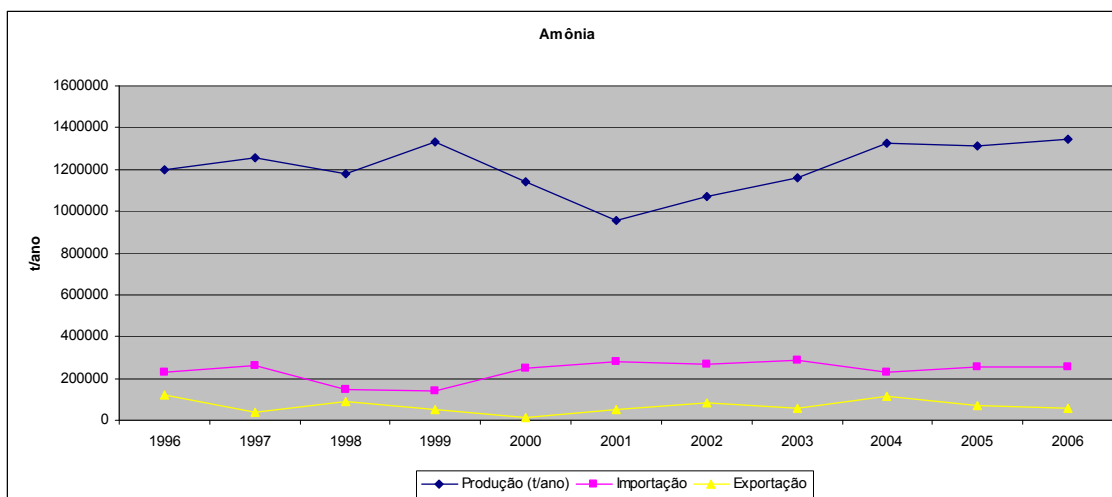


Figura A.1 - Produção, Importação e Exportação de Amônia

Fonte: ABIQUIM, 2008.

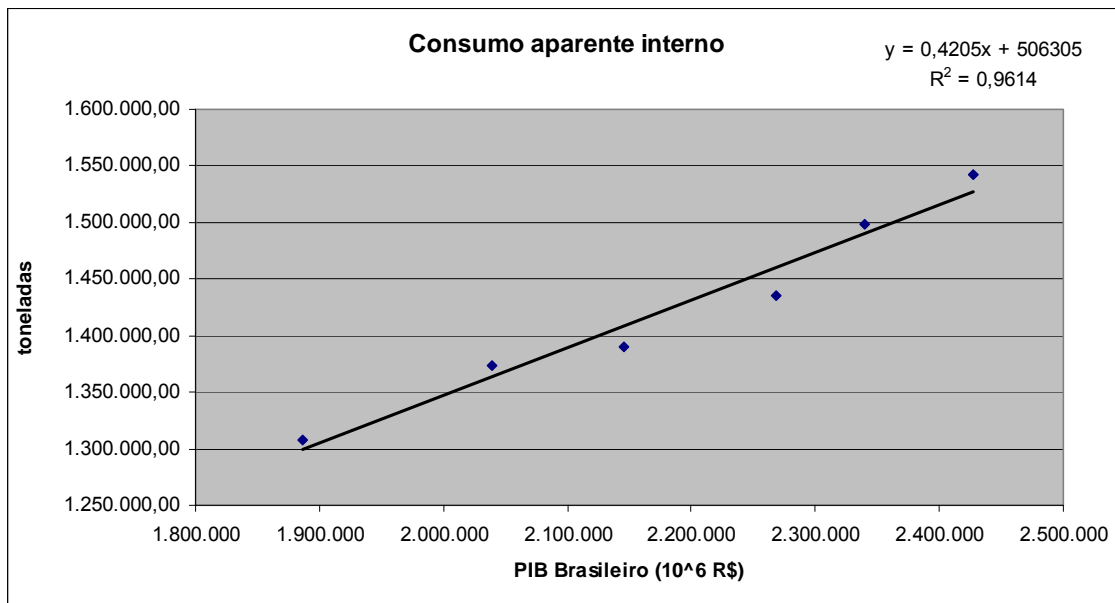


Figura A.2 – Consumo Aparente Interno de Amônia por PIB Brasileiro
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

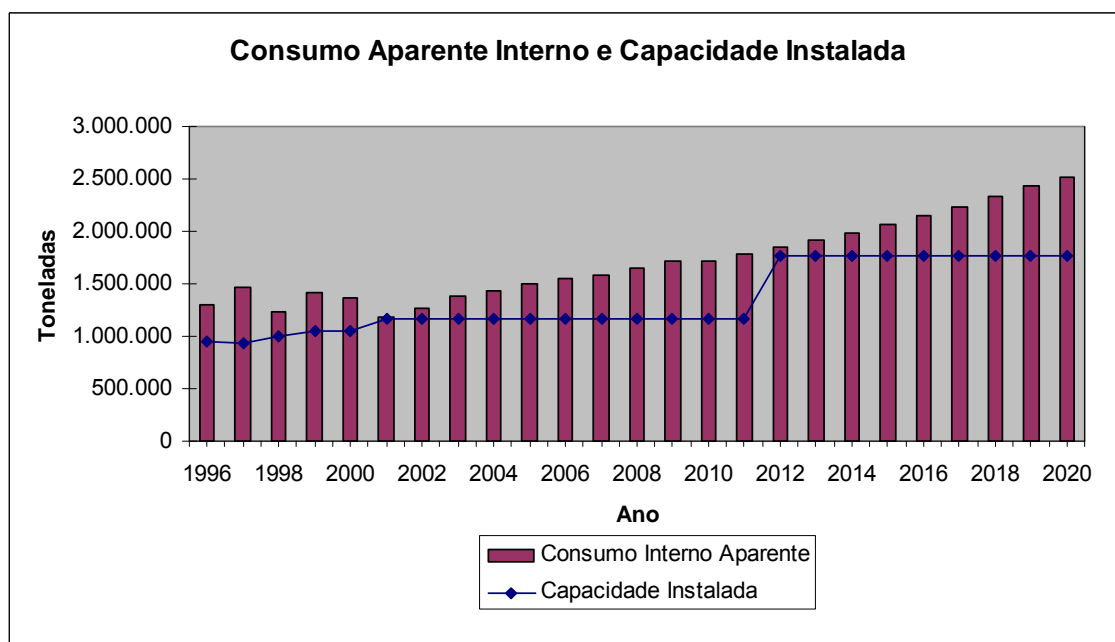


Figura A.3 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de Amônia
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

A.2 – Fosfato de Monoamônio

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.4, A.5 e A.6.**

A capacidade instalada em 2007 foi de 1.360.000 t/ano e, possivelmente, deverá atingir um patamar de 1.360.700 t/ano até o fim de 2008, caso os investimentos da

empresa Samaritá sejam concretizados. Não existem investimentos planejados para os próximos fora o já citado. Sendo assim, não deverá haver produção o suficiente para atender à demanda nacional em 2017.

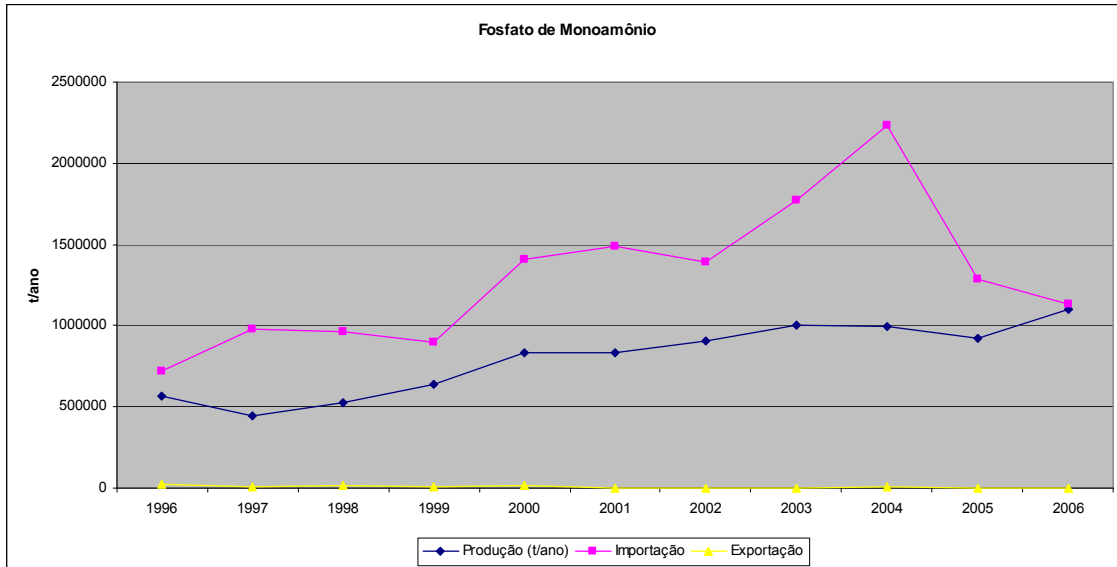


Figura A.4 - Produção, Importação e Exportação de Fosfato de Monoamônio
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

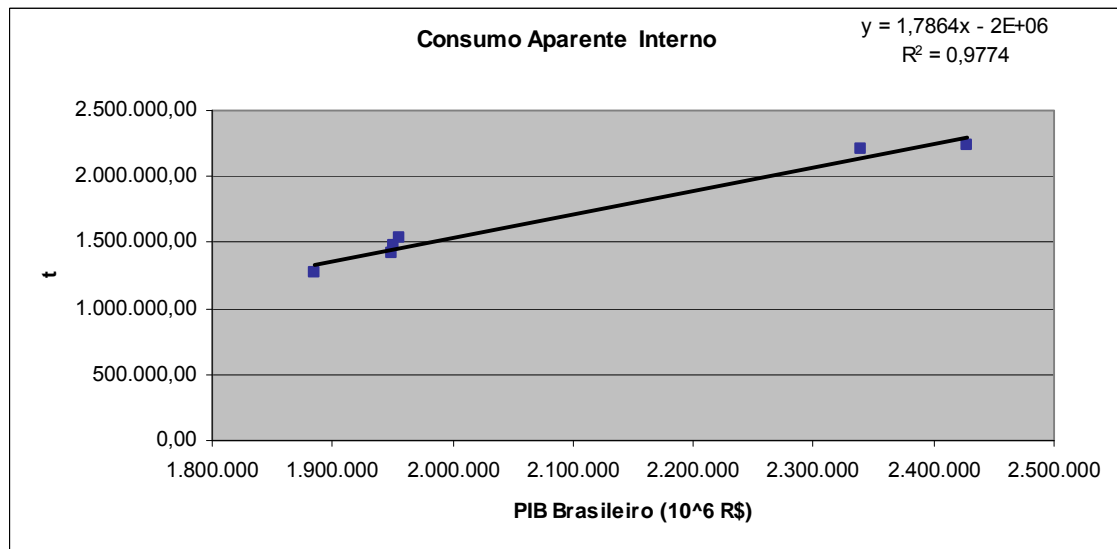


Figura A.5 – Consumo Aparente Interno de Fosfato de Monoamônio por PIB Brasileiro
 Fonte: ABIQUIM, 2008

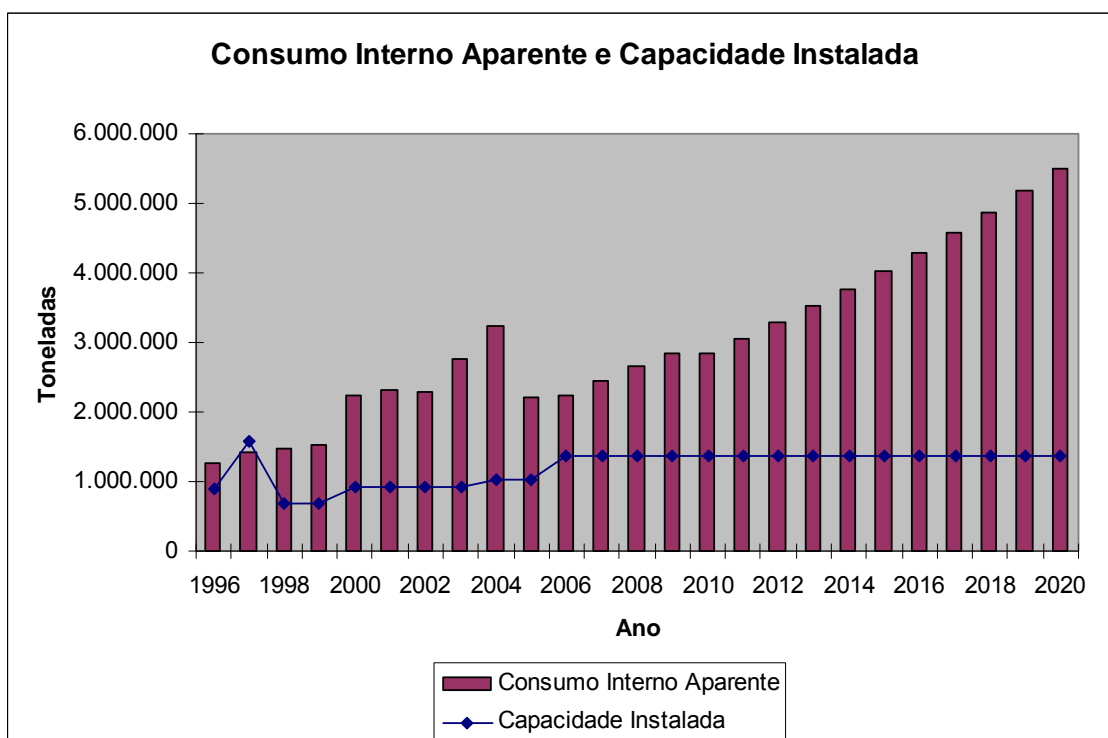


Figura A.6 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de Fosfato de Monoamônio

Fonte: ABIQUIM, 2008.

A.3 – Metanol

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.7, A.8 e A.9**.

A capacidade instalada em 2007 foi de 323.460 t/ano e existe um investimento planejado da empresa Prosint para a aumentar em 50.000 t/ano a produção, a partir de 2007, mas ainda não há perspectiva de concretização do investimento. Sendo assim, não deverá haver metanol o suficiente para suprir a demanda nacional em 2017.

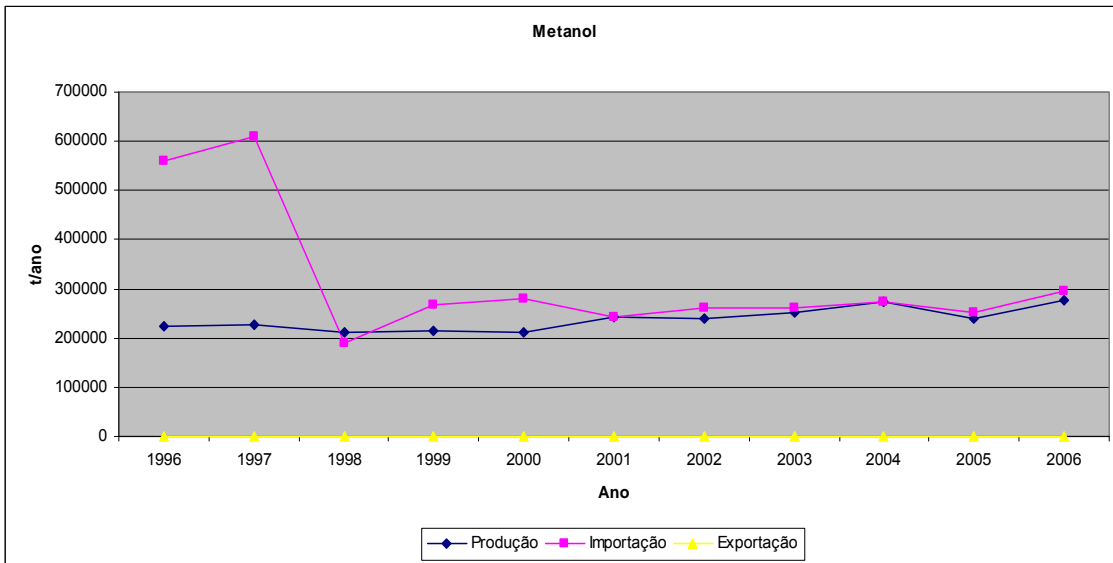


Figura A.7 - Produção, Importação e Exportação de Metanol
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

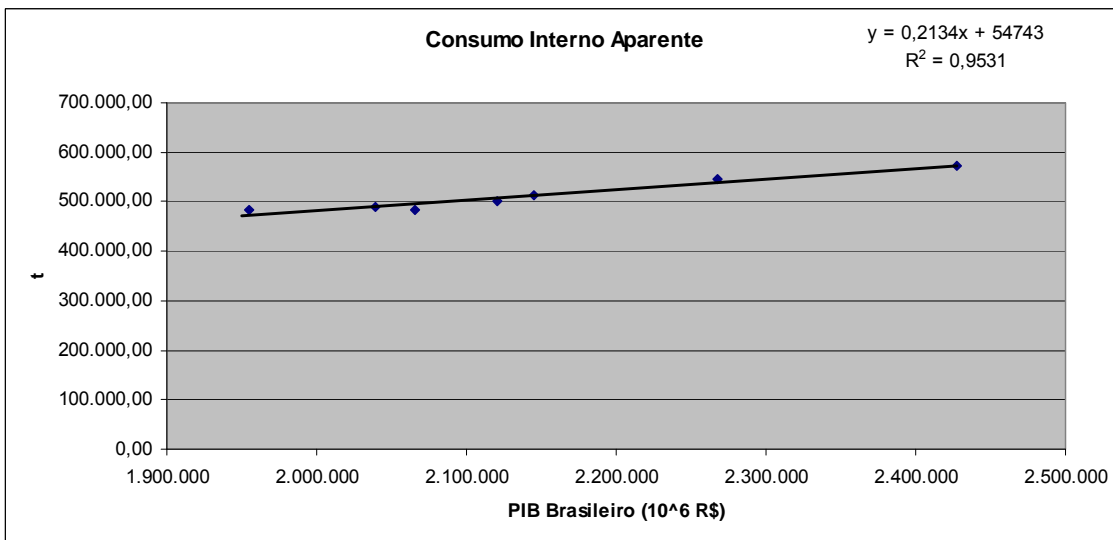


Figura A.8 – Consumo Aparente Interno de Metanol por PIB Brasileiro
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

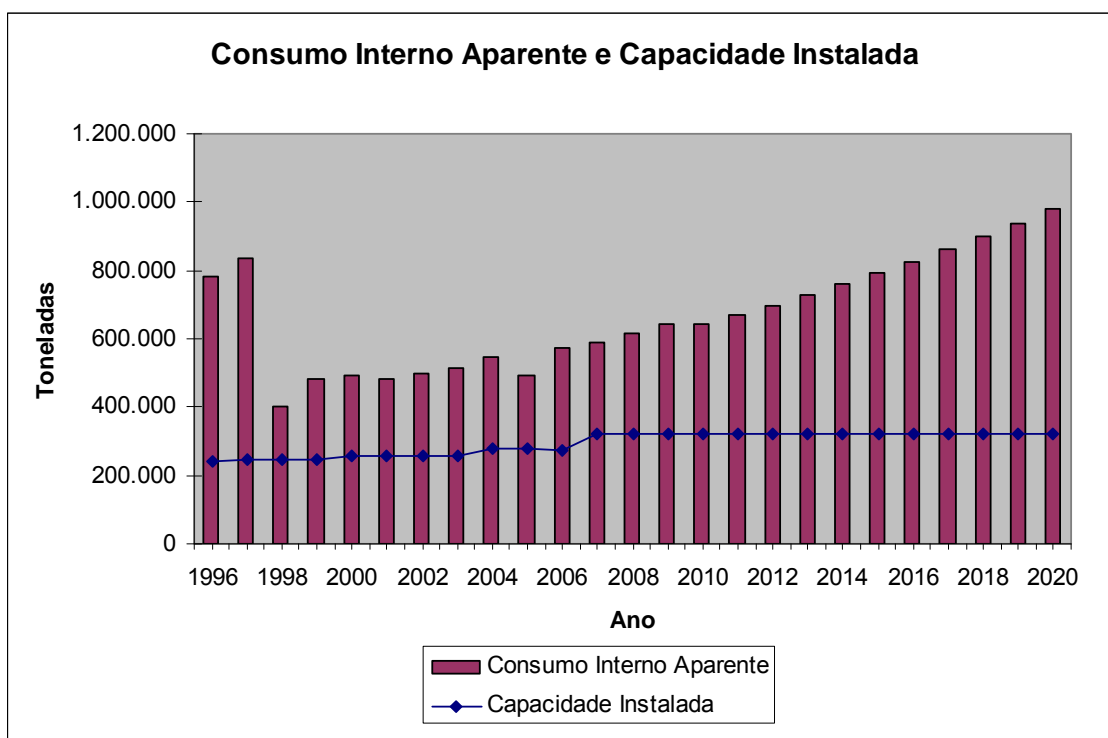


Gráfico A.9 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de Metanol

Fonte: ABIQUIM, 2008.

A.4 – Nitrato de amônio

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.10, A.11 e A.12**.

A capacidade instalada em 2007 foi de 559.002 t/ano, e não há investimentos futuros planejados. Sendo assim, não deverá haver produto o suficiente para suprir a demanda nacional em 2017.

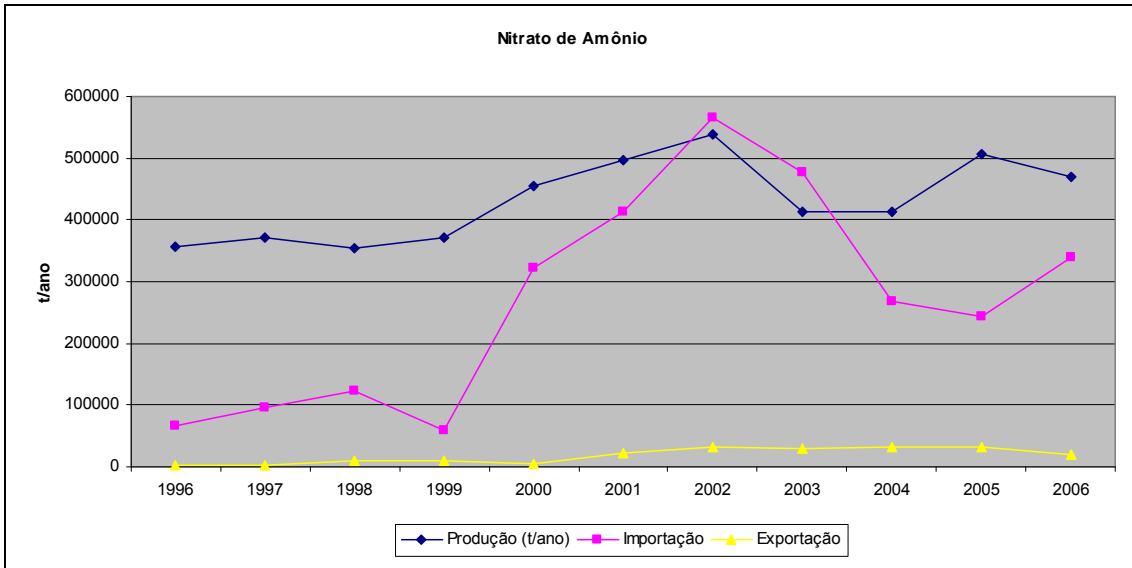


Figura A.10 - Produção, Importação e Exportação de Nitrato de Amônio
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

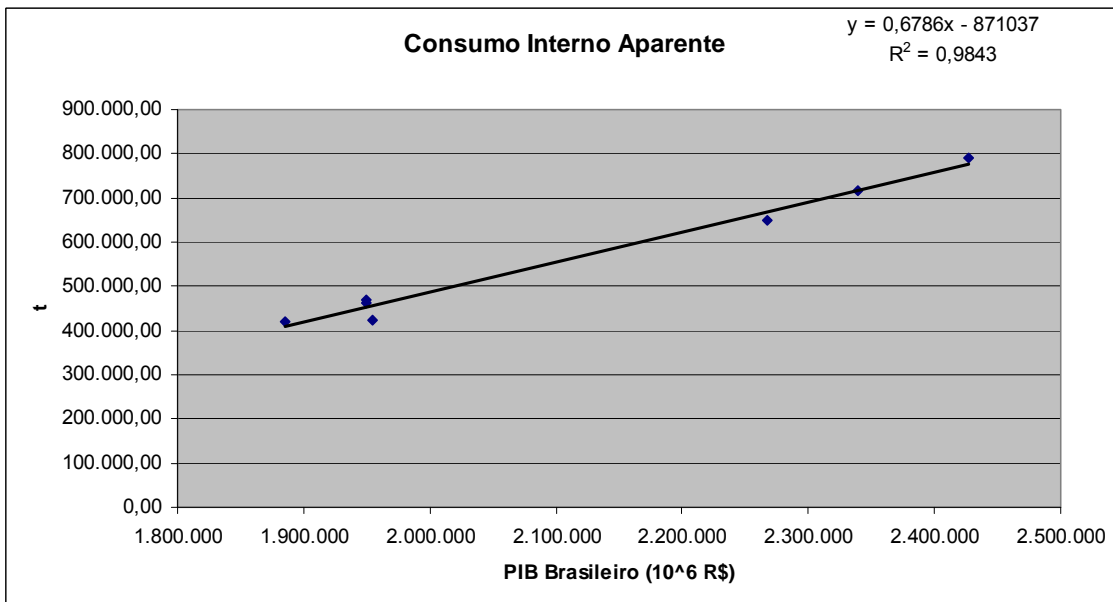


Figura A.11 – Consumo Aparente Interno de Nitrato de Amônio por PIB Brasileiro
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

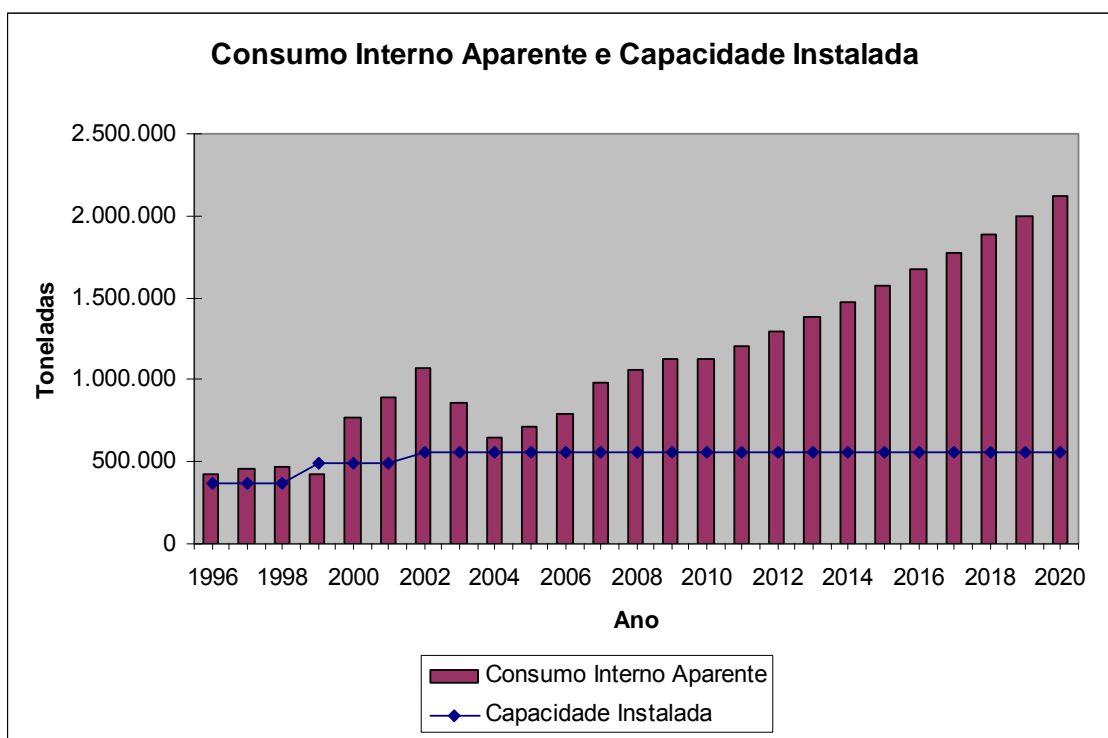


Figura A.12 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de Nitrato de Amônio
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

A.5 – PEAD

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.13, A.14 e A.15**.

A capacidade instalada em 2007 foi de 1.772.000 t/ano (incluindo algumas plantas multipropósito) e deverá atingir um patamar de 2.519.000 t/ano até 2012, quando entrará em operação o COMPERJ. Sendo assim, deverá haver produto o suficiente para suprir a demanda nacional em 2017.

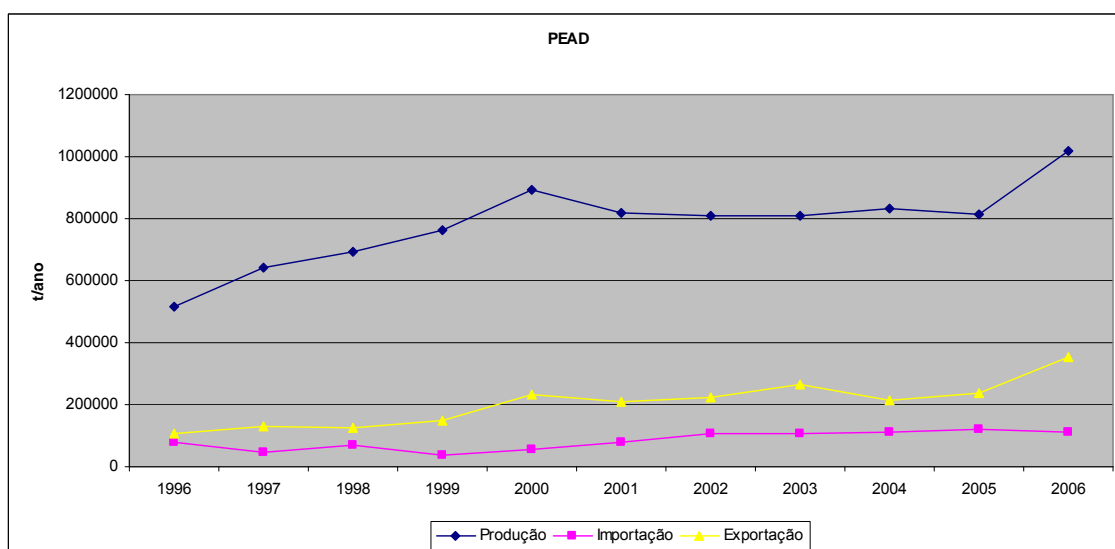


Figura A.13 - Produção, Importação e Exportação de PEAD
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

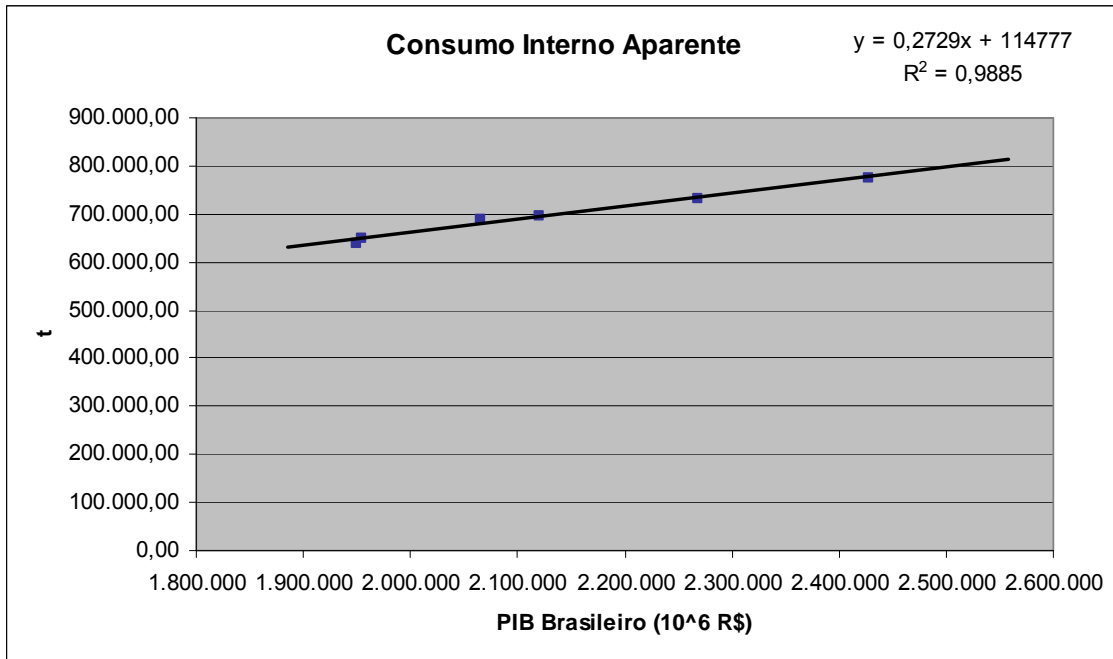


Figura A.14 – Consumo Aparente Interno de PEAD por PIB Brasileiro
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

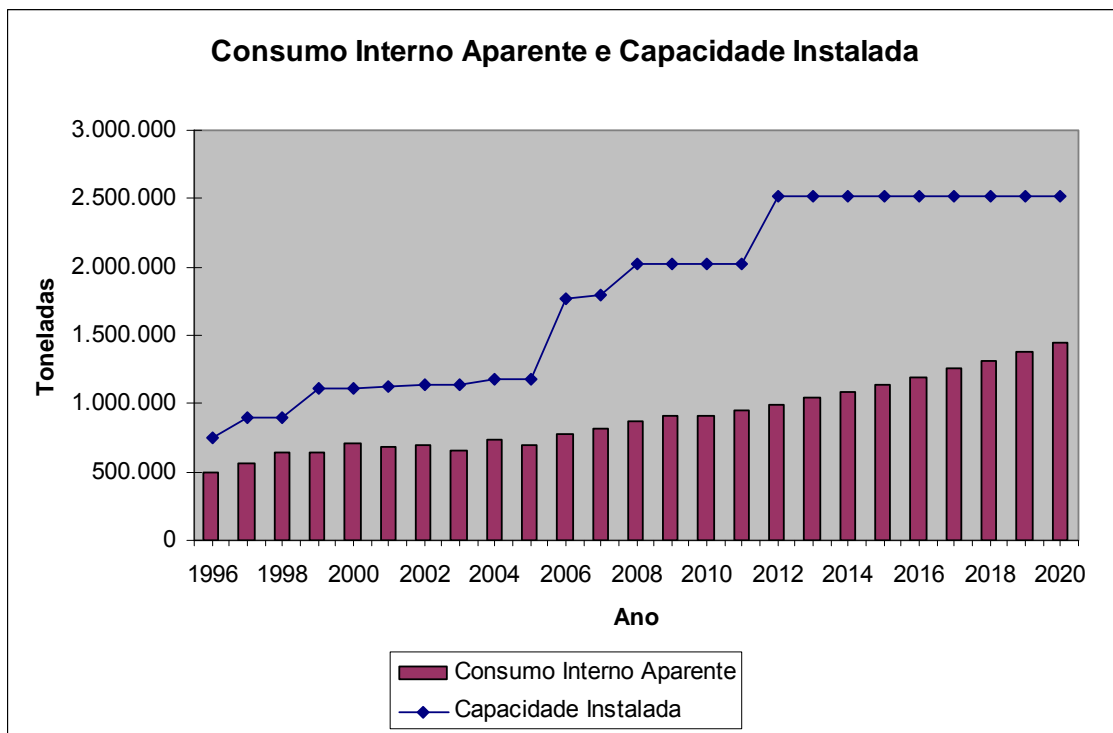


Figura A.15 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de PEAD
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

A.6 – PEBD

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.16, A.17 e A.18**.

A capacidade instalada em 2007 foi de 802.000 t/ano (incluindo algumas plantas multipropósito) e mais investimentos previstos. Deverá haver produto o suficiente para atender à demanda nacional em 2017.

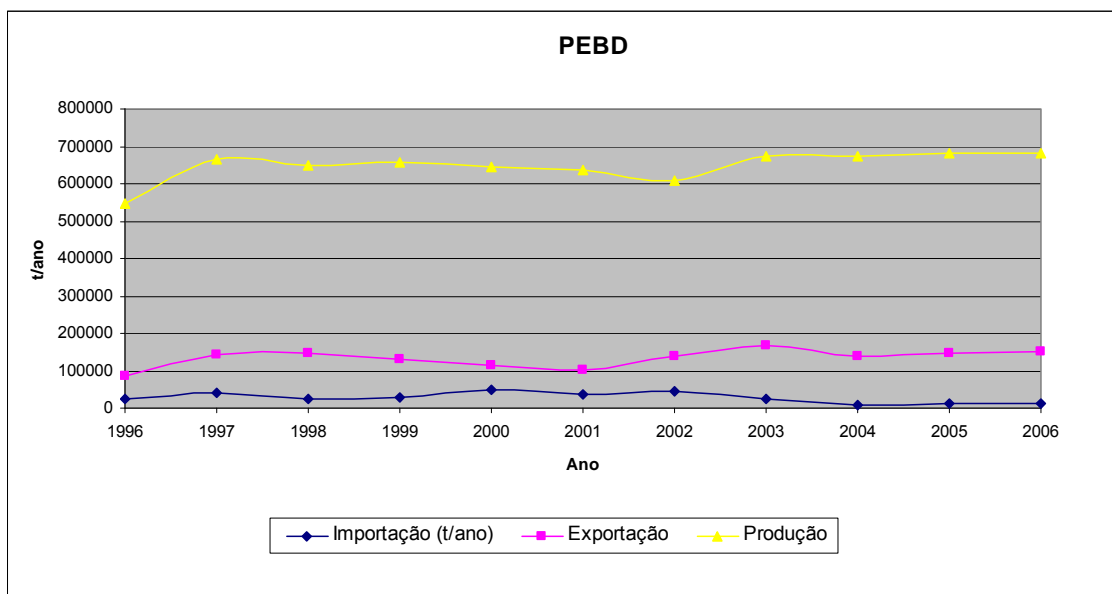


Figura A.16 - Produção, Importação e Exportação de PEBD

Fonte: ABIQUIM, 2008.

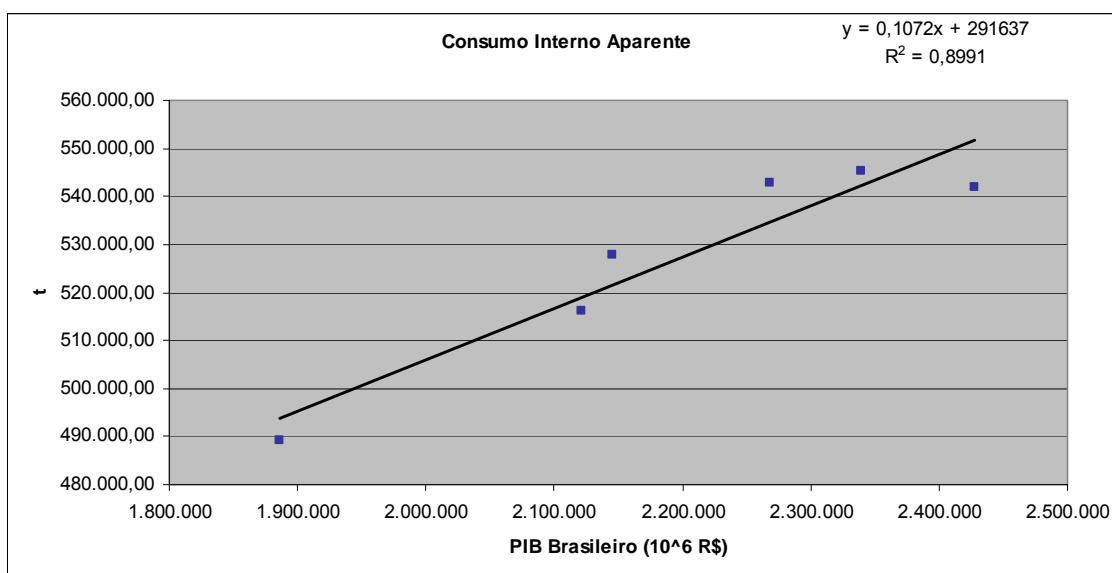


Figura A17 – Consumo Aparente Interno de PEBD por PIB Brasileiro

Fonte: ABIQUIM, 2008.

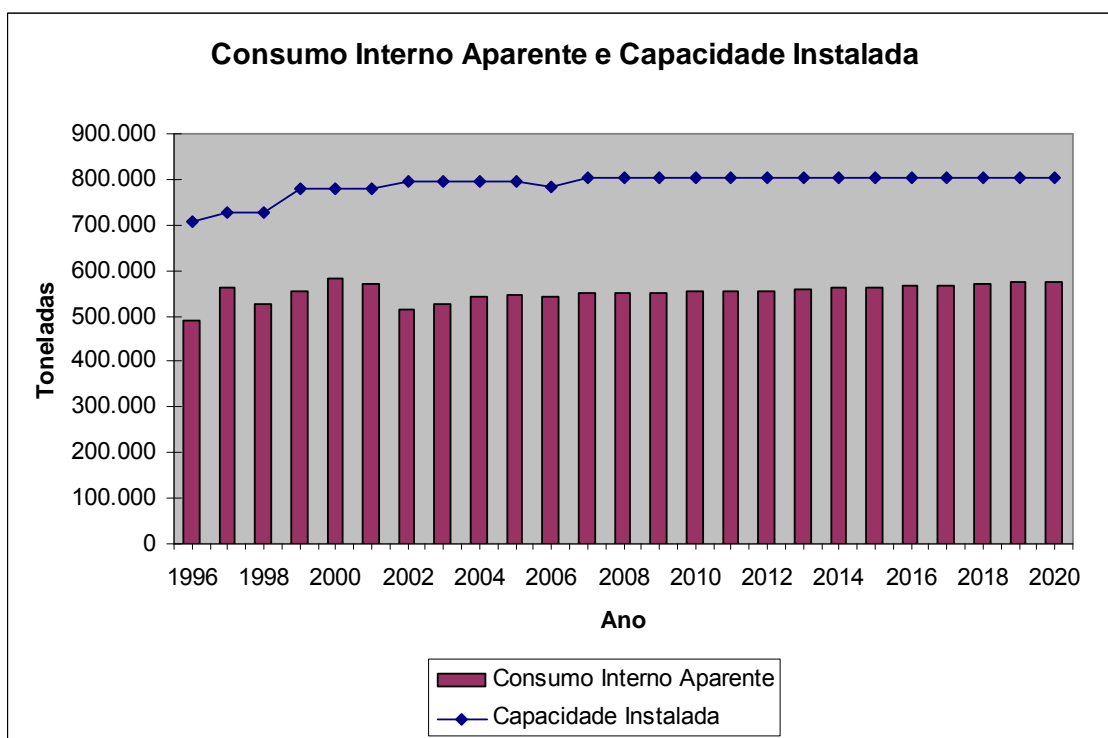


Figura A.18 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de PEBD
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

A.7 – PEBDL

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.19, A.20 e A.21**.

A capacidade instalada em 2007 foi de 1.200.000 t/ano (incluindo algumas plantas multipropósito) e deverá atingir um patamar de 2.690.000 t/ano até 2012, quando deverá entrar em operação o COMPERJ. Sendo assim, possivelmente haverá produto o suficiente para suprir a demanda nacional em 2017.

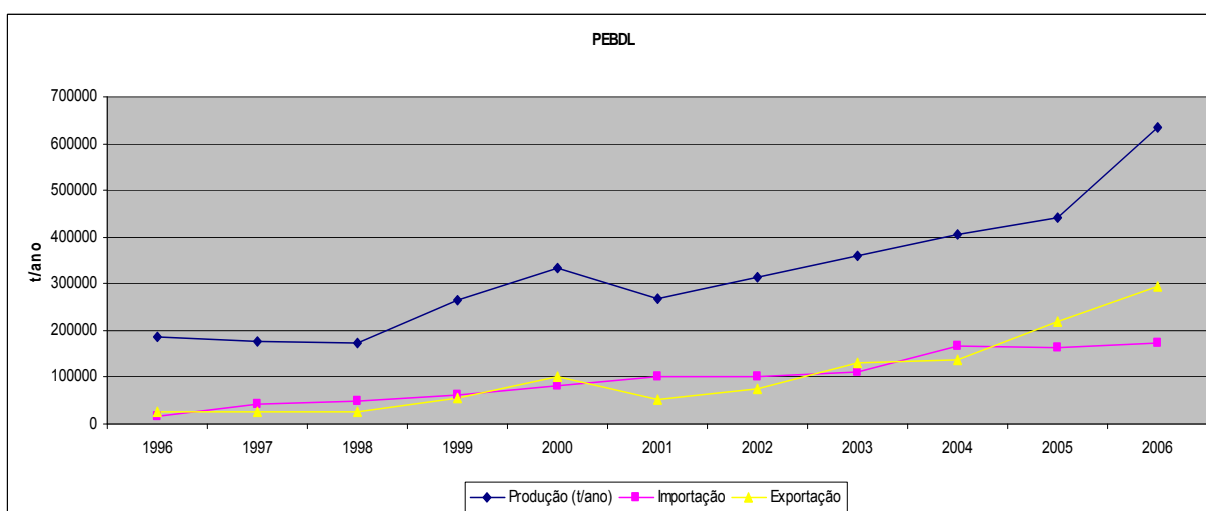


Figura A.19 - Produção, Importação e Exportação de PEBDL
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

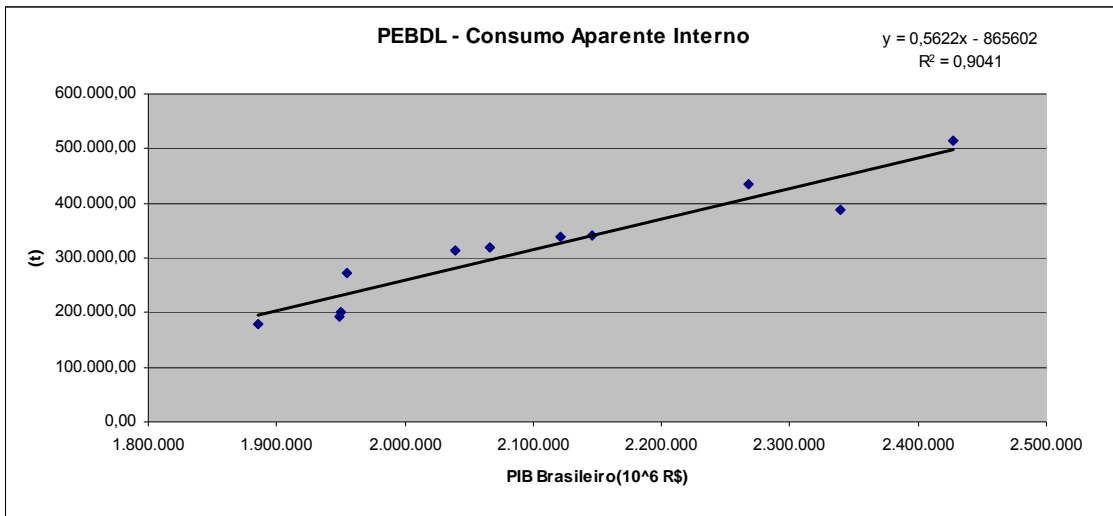


Figura A.20 – Consumo Aparente Interno de PEBDL por PIB Brasileiro
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

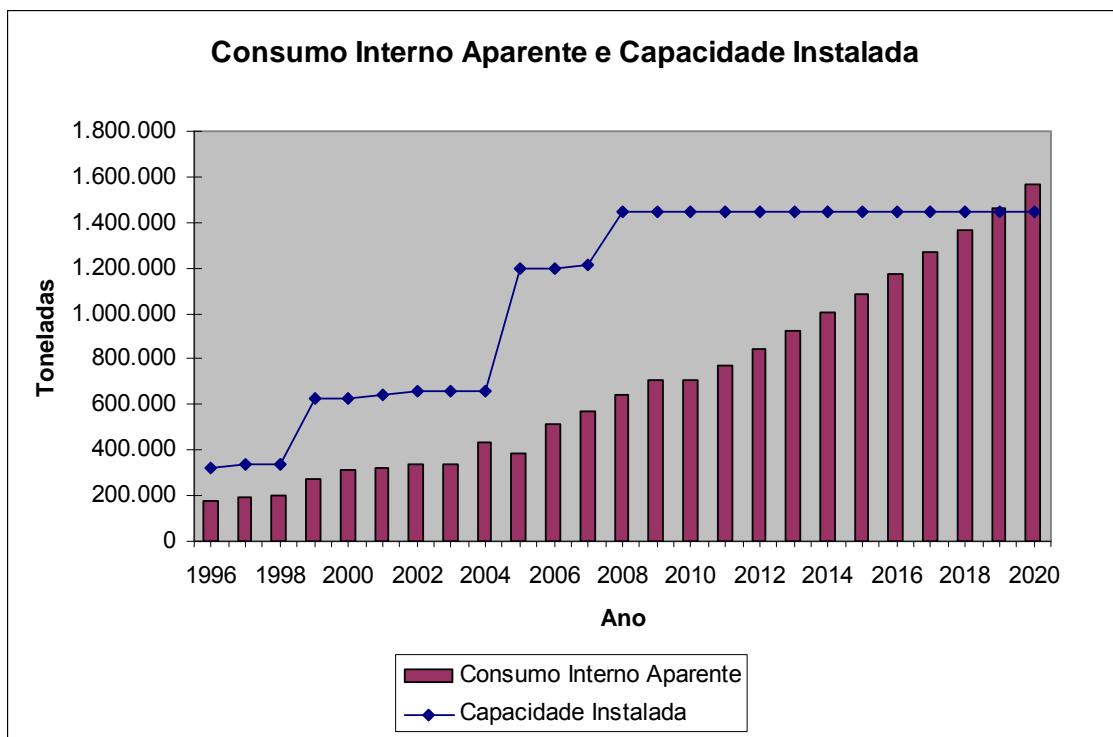


Figura A.21 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de PEBDL
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

A.8 – PET

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.22, A.23 e A.24**.

A capacidade instalada em 2007 foi de 1.425.000 t/ano e, possivelmente, atingirá um patamar de 1.330.000 t/ano até 2012, quando deverá entrar em operação o COMPERJ. Sendo assim, deverá haver produto o suficiente para atender à demanda nacional em 2017.

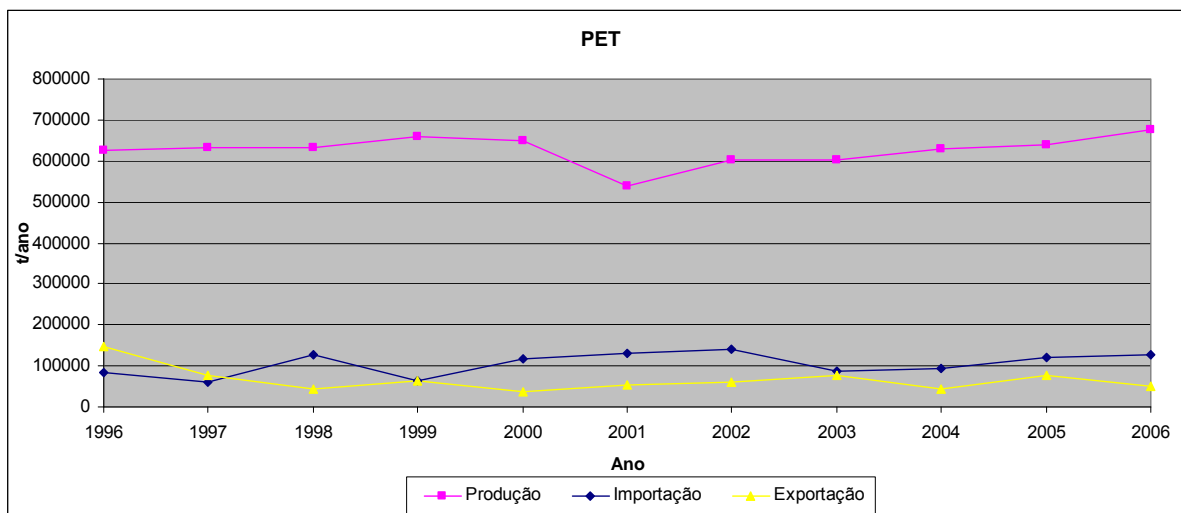


Figura A.22 - Produção, Importação e Exportação de PET

Fonte: ABIQUIM, 2008.

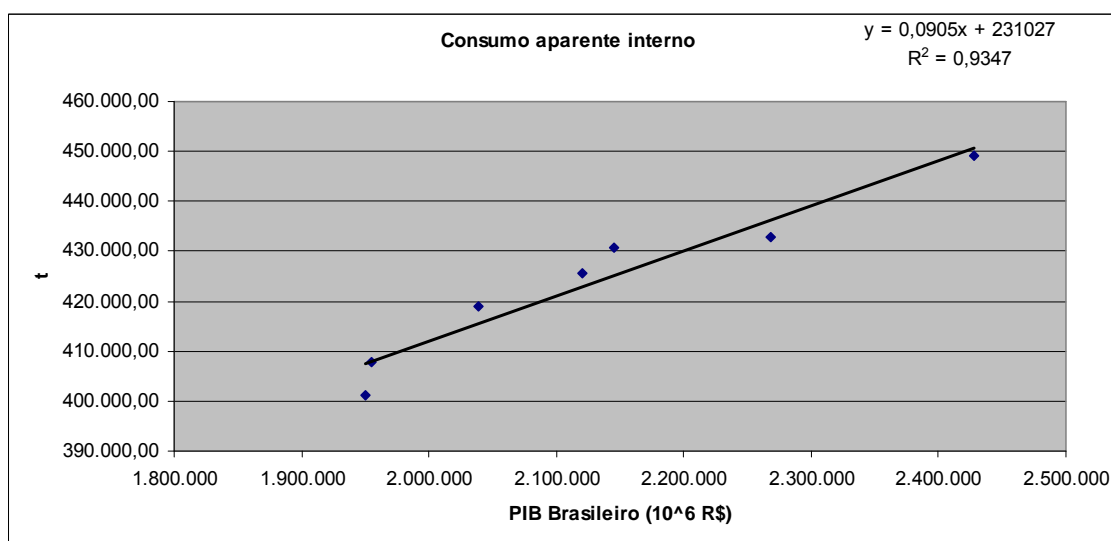


Figura A.23 – Consumo Aparente Interno de PET por PIB Brasileiro

Fonte: ABIQUIM, 2008.

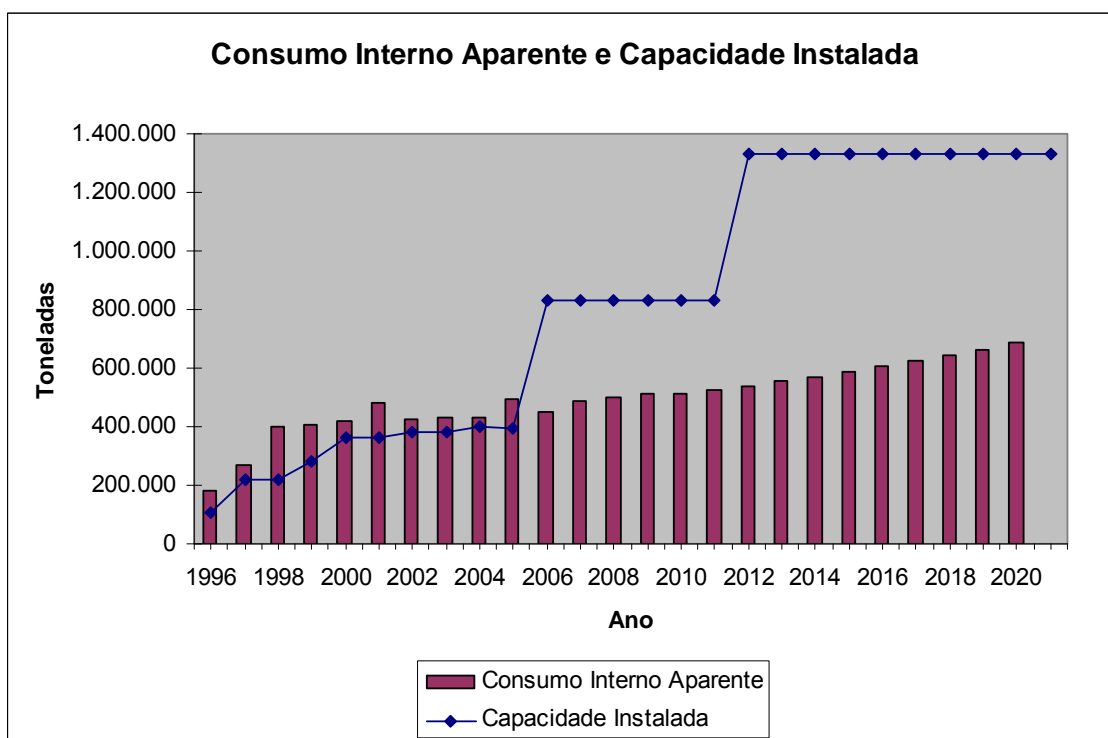


Figura A.24 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de PET

Fonte: ABIQUIM, 2008.

A.9 – Polipropileno

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.25, A.26 e A.27**.

A capacidade instalada em 2007 foi de 1.425.000 t/ano e deverá atingir um patamar de 2.690.000 t/ano até 2012, quando deverá entrar em operação o COMPERJ. Sendo assim, possivelmente haverá produto o suficiente para suprir a demanda nacional em 2017.

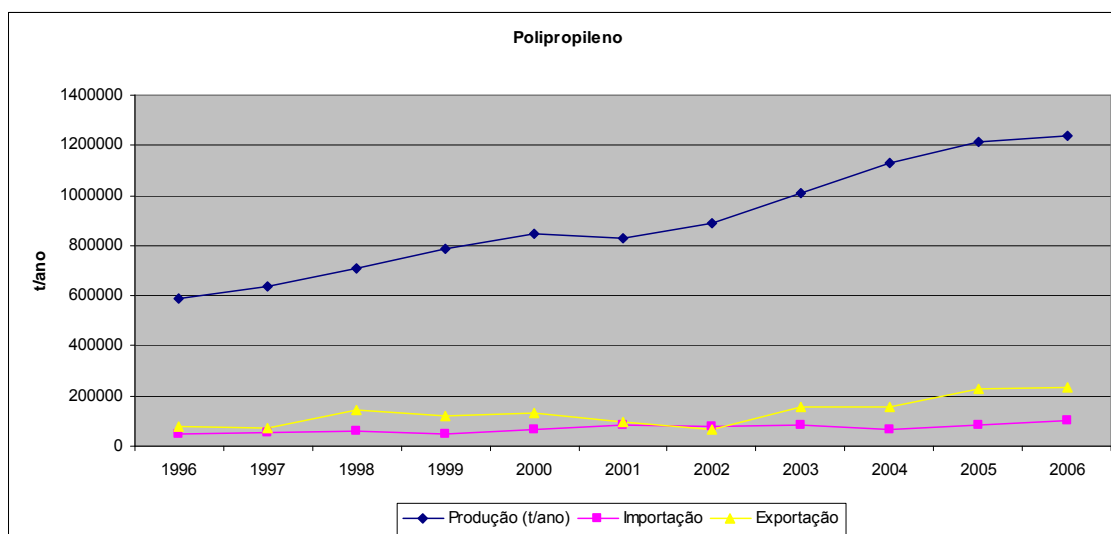


Figura A.25 - Produção, Importação e Exportação de Polipropileno

Fonte: ABIQUIM, 2008.

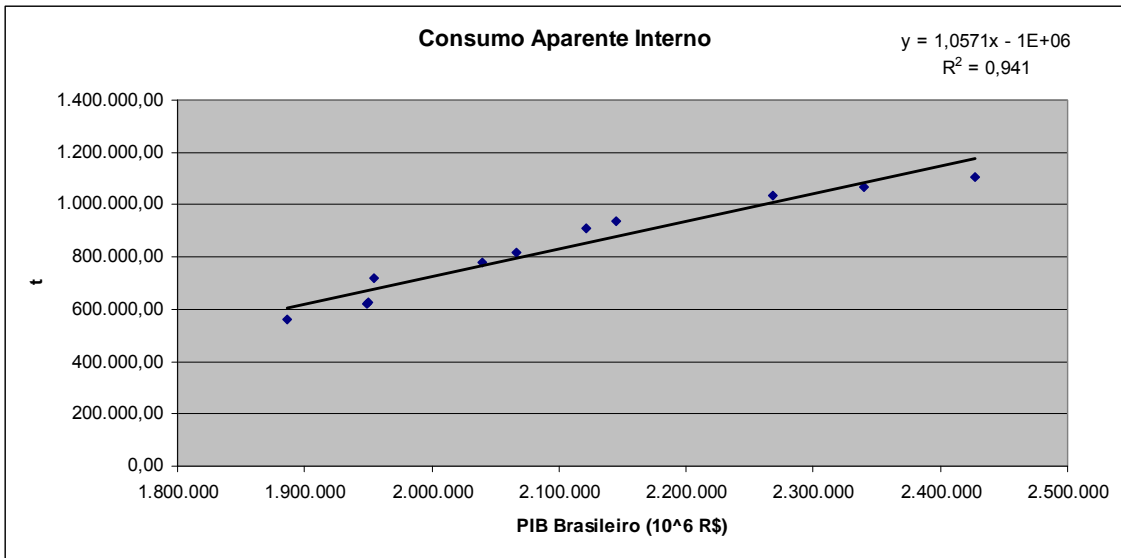


Figura A.26 – Consumo Aparente Interno de Polipropileno por PIB Brasileiro
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

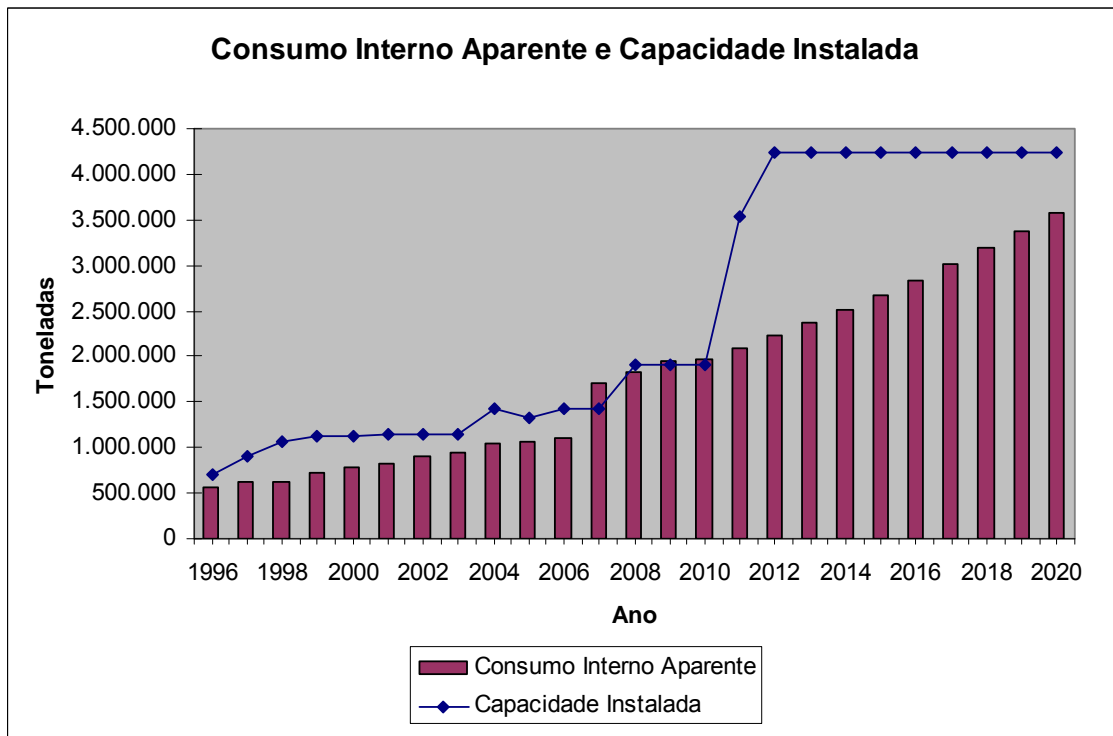


Figura A.27 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de Polipropileno
 Fonte: ABIQUIM, 2008.

A.10 – PVC

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.28, A.29 e A.30**.

A capacidade instalada em 2007 foi de 786.000 t/ano e, possivelmente, atingirá um patamar de 1.731.000 t/ano em 2012. Assim, deverá haver produto o suficiente para atender à demanda nacional em 2017.

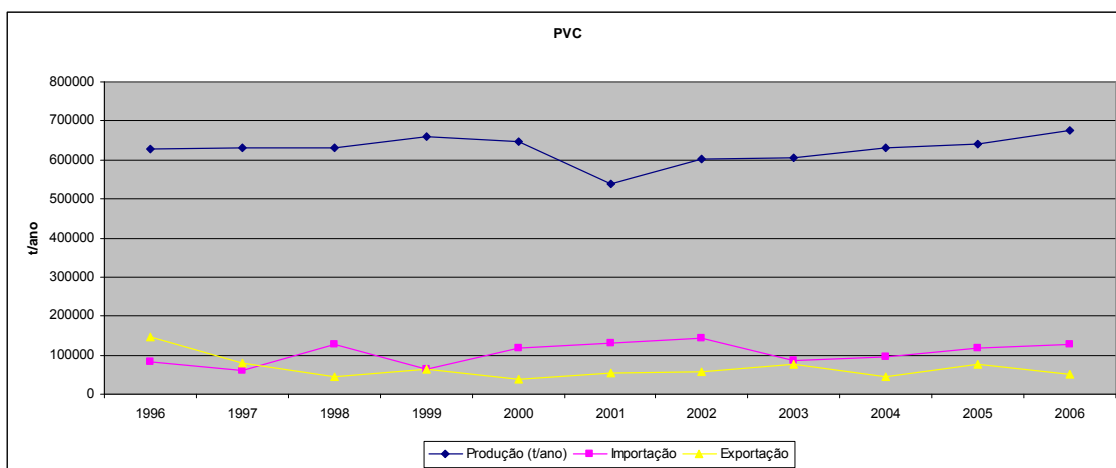


Figura A.28 - Produção, Importação e Exportação de PVC por PIB Brasileiro
Fonte: ABIQUIM, 2008.

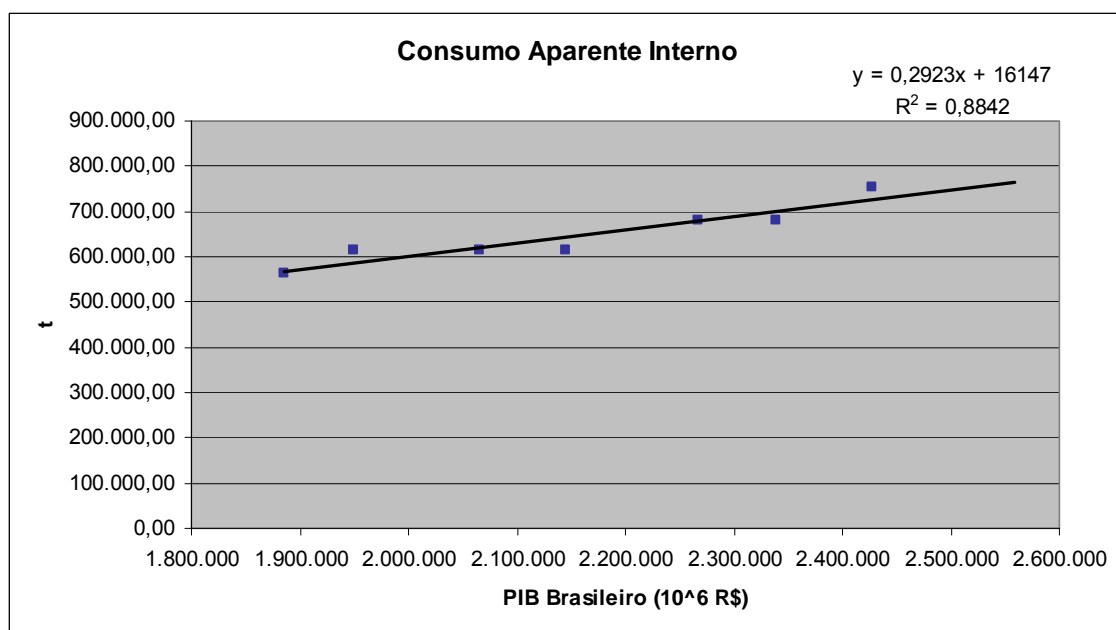


Figura A.29 – Consumo Aparente Interno de PVC por PIB Brasileiro
Fonte: ABIQUIM, 2008.

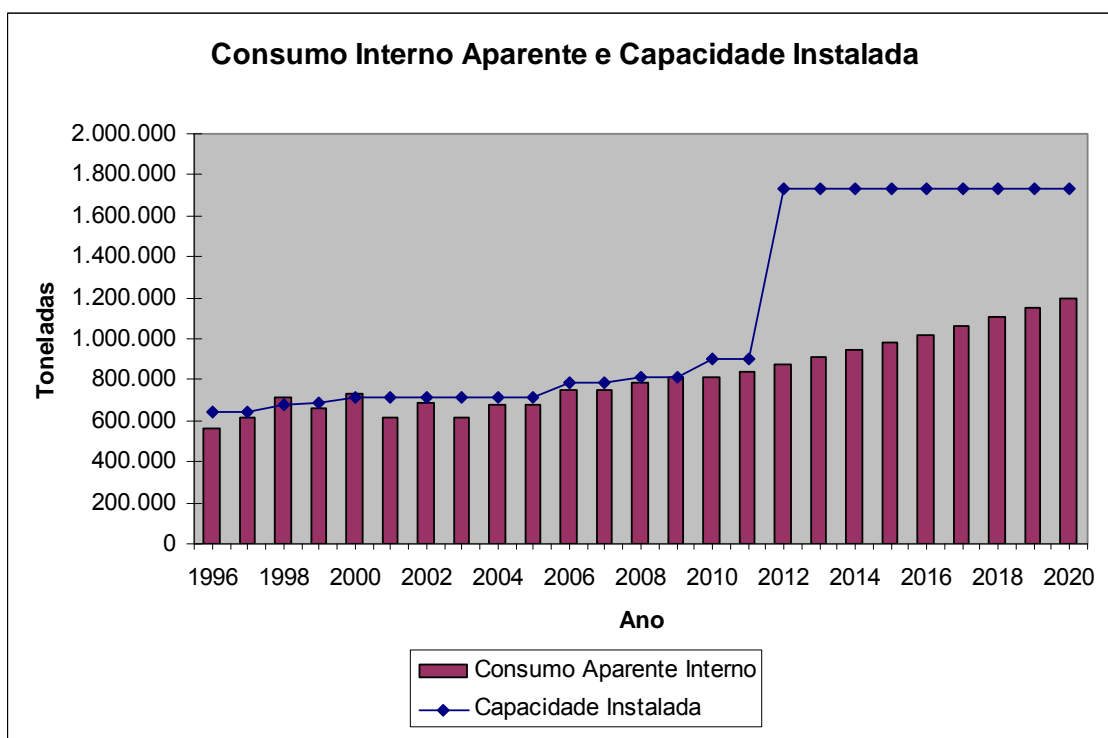


Figura A.30 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de PVC

Fonte: ABIQUIM, 2008.

A.11 – Sulfato de amônio

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.31, A.32, e A.33.**

A capacidade instalada em 2007 foi de 305.850 t/ano, e atingirá um patamar de 575.850 t/ano em 2009, se os investimentos da UNIGEL se concretizarem. Ainda assim, possivelmente não haverá produto o suficiente para suprir a demanda nacional em 2017.

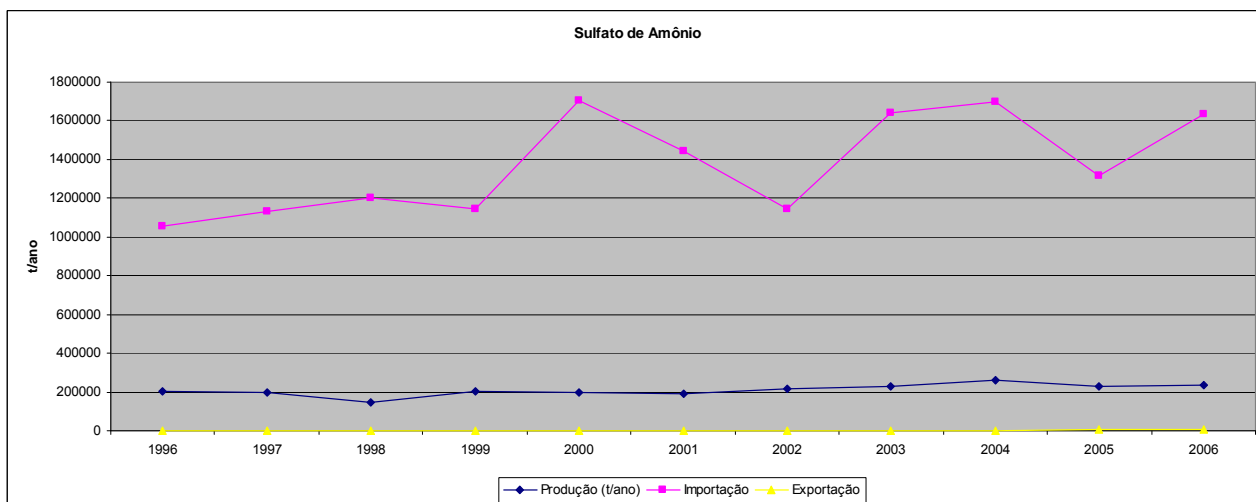


Figura A.31 - Produção, Importação e Exportação de Sulfato de Amônio

Fonte: ABIQUIM, 2008.

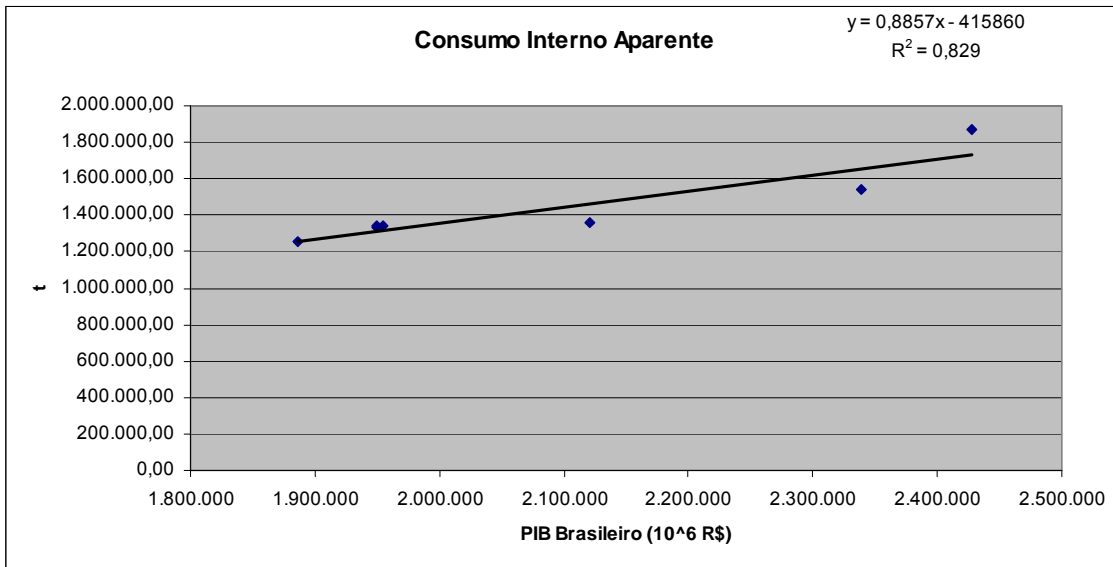


Figura A.32 – Consumo Aparente Interno de Sulfato de Amônio por PIB Brasileiro

Fonte: ABIQUIM, 2008.

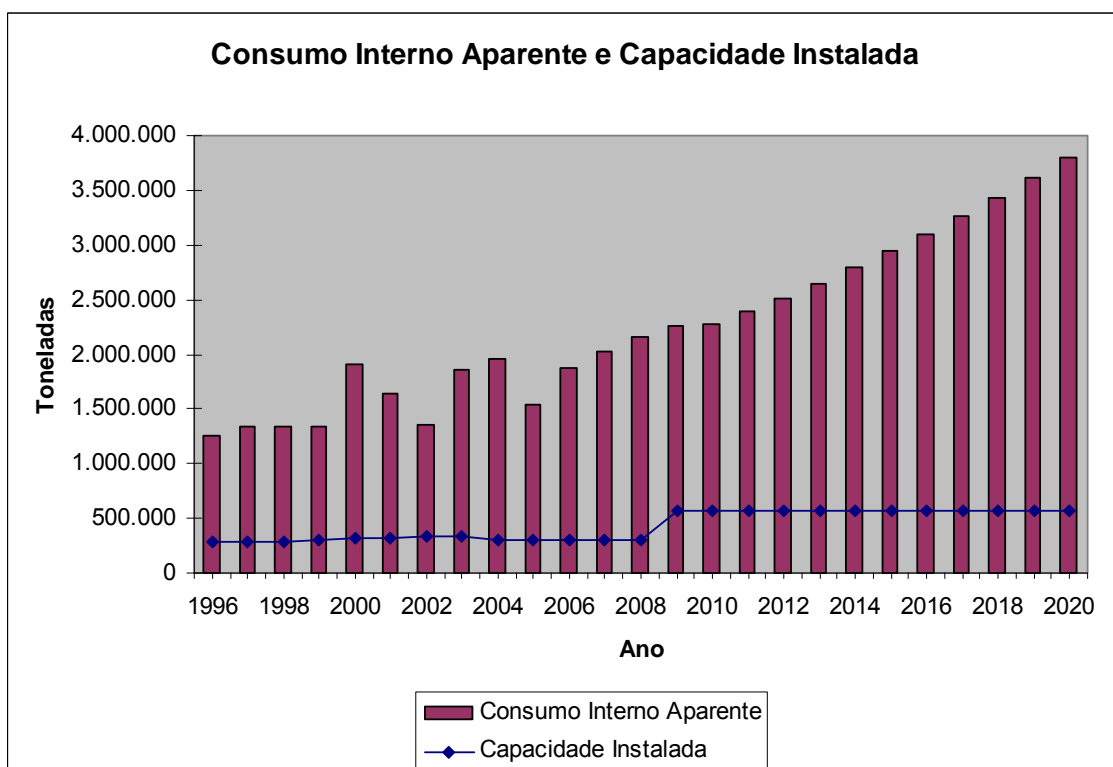


Figura A.33 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de Sulfato de Amônio

Fonte: ABIQUIM, 2008.

A.12 – Uréia

Os levantamentos realizados para o produto estão nas **Figuras A.34, A.45, e A.36**.

A capacidade instalada em 2006 foi de 1.719.000 t/ano, e o destino das vendas internas foi de 69,3% para fertilizantes, 5,4% para processos químicos, 10,4% para alimentação animal e 14,9% como intermediário químico (ABIQUIM, 2008). Ela deverá atingir um patamar de 2.828.000 t/ano em 2012. Sendo assim, possivelmente não haverá capacidade instalada o suficiente no País para atender à demanda nacional em 2017.

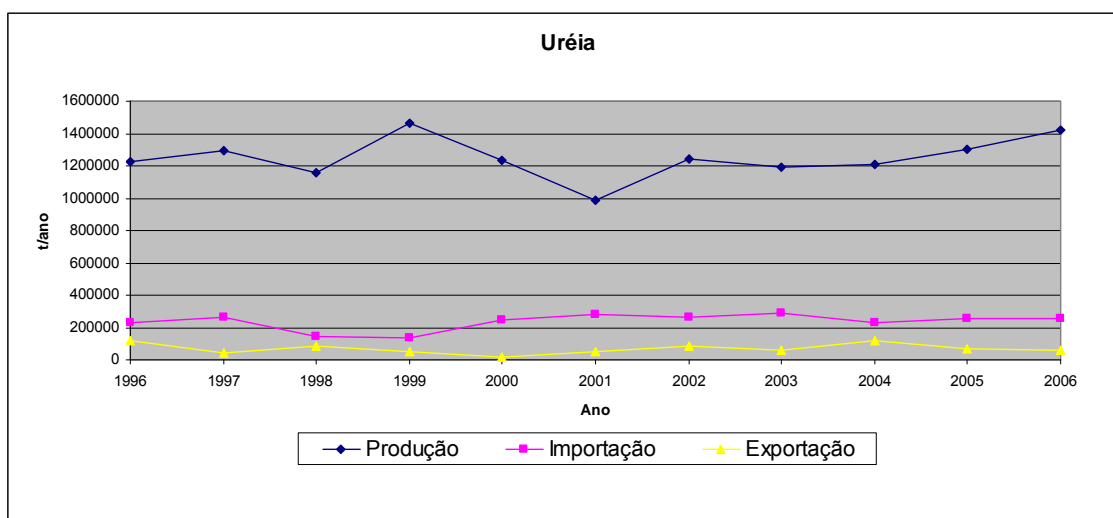


Figura A.34 - Produção, Importação e Exportação de Uréia
Fonte: ABIQUIM, 2008.

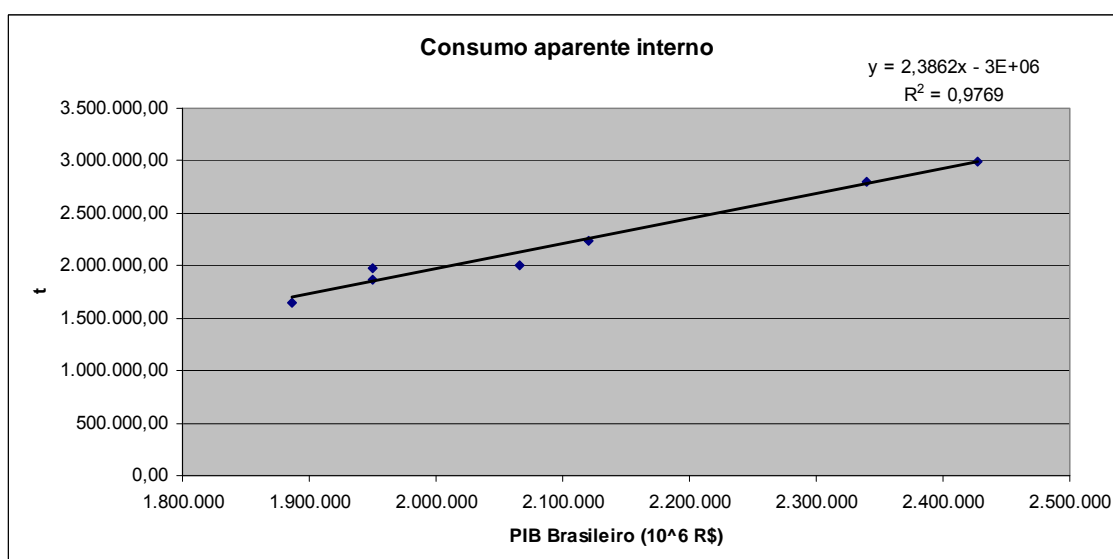


Figura A.35 – Consumo Aparente Interno de Uréia por PIB Brasileiro
Fonte: ABIQUIM, 2008.

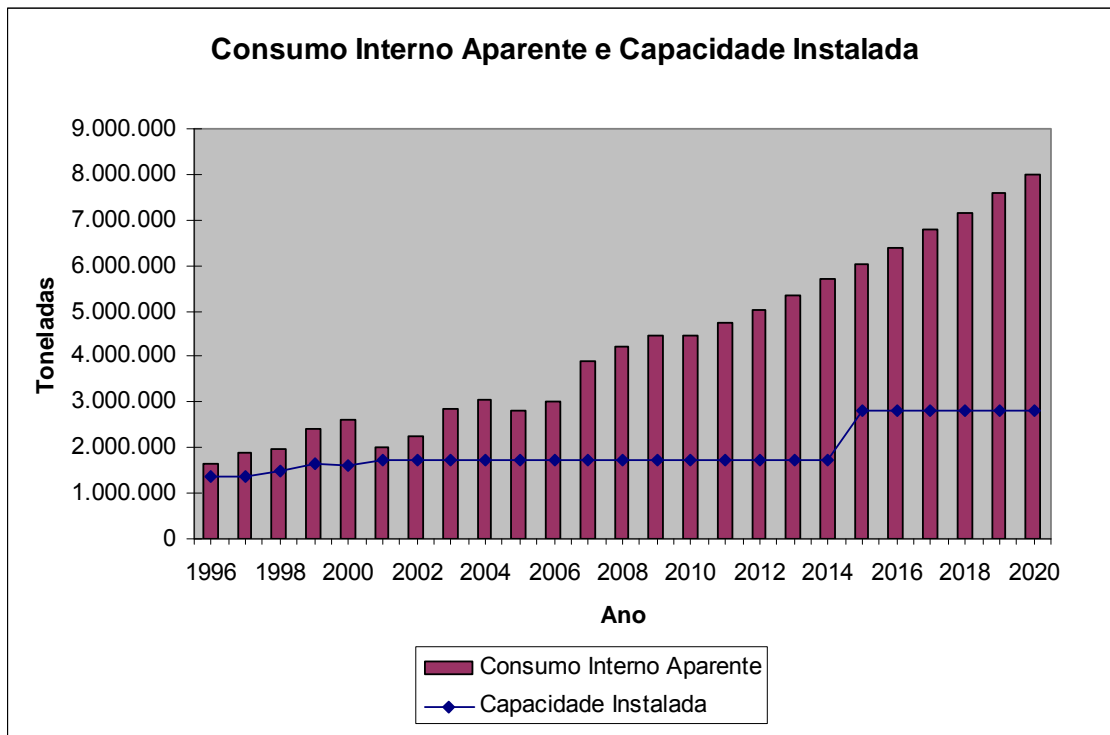


Figura A.36 - Consumo Interno Aparente e Capacidade Nacional Instalada por Ano de Uréia
 Fonte: ABIQUIM, 2008.