



**Estudo preliminar de Viabilidade Técnico-
Econômica de Complexo Aromático Visando o
Mercado de Para-xileno na SUAPE.
Refinaria de Implementação : RNEST**

Andressa Donadio Delbons
Ludmila Zamboni de Sá Vasconcellos
Marcelle Gonçalves de Miranda

Projeto Final de Curso

Orientadores:

Luiz Fernando Leite, D.Sc.
Maria José de O. C. Guimarães, D.Sc.

Dezembro de 2012

**ESTUDO PRELIMINAR DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA
DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM COMPLEXO AROMÁTICO
VISANDO O MERCADO DE PARA-XILENO NA SUAPE
REFINARIA DE IMPLEMENTAÇÃO: RNEST**

*Andressa Donadio Delbons
Ludmila Zamboni de Sá Vasconcellos
Marcelle Gonçalves de Miranda*

Projeto 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:

Mario Sergio O. Castro, Engenheiro

Ricardo Rodrigues da Cunha Pinto, D.Sc.

Suely Pereira Freitas, D.Sc.

Orientado por:

Luiz Fernando Leite, D.Sc.

Maria José de O. C. Guimarães, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil
Dezembro de 2012

Ficha Cartográfica

Delbons, Andressa; Vasconcellos, Ludmila; Miranda, Marcelle.

Projeto. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2012.

(Projeto Final de Curso) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2012.

Orientadores: Guimarães, Maria José de O. C. & Leite, Luiz Fernando.

Dedicatória

Aos engenheiros químicos de vanguarda, que compreendem a importância de enxergar além dos cálculos matemáticos e teorias supostamente irrefutáveis; àqueles mortais que conseguem ultrapassar a barreira dos números e contemplar a vastidão e complexidade do universo inserido na própria profissão.

“Aprender sem pensar é inútil. Pensar sem aprender é perigoso.”

Confúcio

“Não acredite no que você ouviu; não acredite em tradições porque elas existem em muitas gerações; não acredite em algo porque é dito por muitos; não acredite meramente em afirmações escritas de sábios antigos; não acredite em conjecturas; não acredite em algo como verdade por força do hábito; não acredite meramente na autoridade de seus mestres e anciãos. Somente após observação e análise, quando for de acordo com a razão e condutivo para o bem e benefício de todos, somente então aceite e viva para isso.”

Buda

AGRADECIMENTOS

“Em particular para este projeto, o primeiro agradecimento não pode ser a outras que não as minhas colegas Marcelle e Ludmila, pela paciência e generosidade ao longo de toda a trajetória que nos guiou até aqui. Os nossos orientadores também merecem ser lembrados pela dedicação e maestria na tutoria: tenho profunda admiração pela arte de ensinar, e pelos que têm vocação para esta belíssima profissão.

Aos amigos, colegas e conhecidos que fizeram os meus dias mais felizes por estes corredores, a vida mais leve e as mesas de bar mais imperdíveis: o álcool e o bate-papo informal são sem dúvida a fonte inspiradora de muitas das grandes idéias da humanidade.

Aos colegas de trabalho, pela cumplicidade e compreensão: concluir esta graduação não seria possível sem a ajuda de vocês!

Aos meus pais, e às minhas avós, que me mantiveram vestida, alimentada e puseram um teto sobre a minha cabeça até o momento; pelas noites mal-dormidas, tempo e dinheiro investidos na minha formação pessoal e profissional. Sem o seu suporte certamente hoje esta etapa não estaria sendo concluída.

E finalmente às forças do Universo, que conspiraram sempre ao meu favor, tornando este momento real e possível.”

Andressa Donadio Delbons

“Agradeço primeiramente aos meus pais e sua fé, que me encorajaram a finalizar essa etapa e proveram todo o suporte para minha graduação. Aos meus irmãos, que por muitas vezes, mesmo sem saber, serviram de inspiração.

Gostaria de agradecer a todos os colegas que fizeram meus dias valerem a pena dentro da faculdade: Cris, Mariah, Cadu, Lauri, Isa, Igor, Gean, Ana Carol, Debora e outros mais, que serão sempre na minha visão os jovens que entraram com todos os sonhos do mundo na busca não da profissão, mas da felicidade.

Especificamente para esse projeto agradeço aos orientadores e a extrema paciência durante todo o tempo e minhas companheiras de projeto.

Em especial, dentro da Escola de Química, agradeço a professora Suely Freitas que foi minha orientadora pessoal durante todos os anos de faculdade, talvez por eu nunca ter cursado nenhuma disciplina ministrada por ela.”

Ludmila Zamboni de Sá Vasconcellos

“Agradeço primeiramente a Deus, que guiou meus passos até a finalização dessa etapa da minha vida, aos meus pais que estiveram ao meu lado durante toda minha trajetória acadêmica apoiando e confortando.

Agradeço ainda a toda minha família pelo orgulho e credibilidade em mim confiada, aos meus amigos que estiverem por perto durante a faculdade, nas horas de estudo e diversão e aos mestres que me deram a visão dessa profissão.”

Marcelle Gonçalves Miranda

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

ESTUDO PRELIMINAR DE VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA UNIDADE DE REFORMA CATALÍTICA VISANDO O MERCADO DE PARA-XILENO NA ÁREA DE SUAPE REFINARIA DE IMPLEMENTAÇÃO: RNEST

Andressa Donadio Delbons
Ludmila Zamboni de Sá Vasconcellos
Marcelle Gonçalves de Miranda

Dezembro, 2012

Orientadores: Luiz Fernando Leite, D.Sc.
Maria José de O. C. Guimarães, D.Sc.

O para-xileno é um petroquímico de primeira geração de grande importância de mercado, tendo em vista sua aplicação como intermediário químico na produção de ácido tereftálico, que atende principalmente a indústria crescente de PET.

Nos próximos meses há previsão da entrada em operação de uma unidade de produção de ácido tereftálico na Companhia Petroquímica de Pernambuco (Petroquímica Suape), o que gerará demanda intensiva do produto no país. Prevê-se, portanto, uma dependência futura de importações de para-xileno, caso não sejam tomadas medidas para evitar este fato.

O presente trabalho teve como objetivo principal desenvolver um estudo de viabilidade técnico-econômica de instalação de um Complexo Petroquímico de Aromáticos visando geração de para-xileno dentro da refinaria RNEST, em Pernambuco, integrando o Refino e a Petroquímica de forma a atender o mercado regional e fechar a cadeia produtiva desse setor petroquímico na região.

Analisou-se questões técnicas, de mercado e de investimento econômico para a implementação do Complexo Aromático, que parte da Unidade de Reforma Catalítica, típica unidade de refino que produz nafta com alto teor de aromáticos.

ÍNDICE

Capítulo 1. Introdução e Objetivos

1.1. Contextualização.....	p.01
1.2. Introdução.....	p.02
1.3. Objetivos	
1.3.1. Objetivos Gerais.....	p.03
1.3.2. Objetivos Específicos.....	p.03

Capítulo 2. O Petróleo e a Indústria Petroquímica no Brasil

2.1. Apresentação.....	p.04
2.2. O Petróleo Nacional.....	p.04
2.3. Refino de Petróleo.....	p.06
2.4. A Indústria Petroquímica	
2.4.1. Cadeia Petroquímica.....	p.07
2.4.2. Dados da Indústria Petroquímica.....	p.08

Capítulo 3. Petroquímicos Aromáticos

3.1. Cadeia de Aromáticos.....	p.10
3.2. Benzeno.....	p.12
3.3. Tolueno.....	p.13
3.4. Xilenos.....	p.13
3.5. Complexo de Aromáticos.....	p.15
3.6. Descrição das Unidades do Complexo Aromático	
3.6.1. Unidade de Reforma Catalítica.....	p.17
3.6.1.1. Seção de Pré-tratamento da Carga.....	p.19
3.6.1.2. Seção de Reforma.....	p.20
3.6.1.3. Torre Estabilizadora de Carga.....	p.21
3.6.2. Unidade de Extração de Aromáticos.....	p.21
3.6.3. Unidade de Transalquilação e Desproporcionamento.....	p.22
3.6.4. Unidade de Recuperação de para-Xileno.....	p.23
3.6.5. Unidade de Isomerização.....	p.25

Capítulo 4. Análise Mercadológica

4.1. Mercado de Petroquímicos.....	p.28
4.2. Matérias-Primas.....	p.29
4.2.1. Produção.....	p.29
4.2.2. Evolução dos Preços.....	p.30
4.2.3. Mercado – Importação e Exportação.....	p.32
4.3. Produtos	
4.3.1. Produção.....	p.33
4.3.2. Evolução dos Preços.....	p.35
4.4. Análise de Mercado	
4.4.1. Benzeno.....	p.36
4.4.2. Tolueno.....	p.38
4.4.3. PTA e PET.....	p.40

4.4.4. Para-Xileno.....	p.41
Capítulo 5. Balanço de Produção, Viabilidade e Investimentos	
5.1. Apresentação.....	p.48
5.2. Cadeia de PET.....	p.48
5.3. Balanço Material.....	p.51
5.4. Investimentos e Viabilidade	
5.4.1. Investimentos Fixos.....	p.54
5.4.2. Custos Fixos.....	p.56
5.4.3. Custos Variáveis.....	p.57
5.4.4. Investimentos Totais.....	p.57
5.4.5. Fluxo de Caixa.....	p.59
5.5. Sensibilidade.....	p.64
Capítulo 6. Resultados e Limitações	
6.1. Resultados.....	p.66
6.2. Limitações e Proposições de Aprofundamento.....	p.67
Capítulo 7. Conclusão	
7.1. Discussão.....	p.68
7.2. Sugestões Adicionais.....	p.68
7.3. Conclusões.....	p.69
Capítulo 8. Referências Bibliográficas.....	p.70

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1 - Esquemática da Cadeia Petroquímica
- Figura 2.2 - Fluxograma Simplificado de Refino Orientado para Produção de Combustíveis e Aromáticos
- Figura 3.1 - Cadeia Aromática
- Figura 3.2 - Estrutura Molecular dos Principais Aromáticos
- Figura 3.3 - Complexo de Aromáticos visando a Produção de Para-xileno
- Figura 3.4 - Fluxograma do Pré-Tratamento da Carga da Reforma Catalítica
- Figura 3.5 - Principais Reações envolvidas na Reforma Catalítica
- Figura 3.6 - Processo Contínuo da UOP
- Figura 3.7 - Principais Reações da Transalquilação e Desproporcionamento
- Figura 3.8 - Principais Reações da Isomerização
- Figura 3.9 - Reações Laterais da Isomerização
- Figura 3.10 - Recuperação de Para-xileno a partir de Xilenos Mistos
- Figura 4.1 - Tendências de Preço entre Petróleo e Nafta
- Figura 4.2 - Evolução dos Preços de Marlim e Brent
- Figura 4.3 - Fontes de Alimentação de Centrais Petroquímicas
- Figura 4.4 - Comparação de Mercado dos Principais Produtos Aromáticos
- Figura 4.5 - Preços Internacionais para Cadeia de Aromáticos
- Figura 4.6 - Projeção do Consumo Mundial de Benzeno por Derivado
- Figura 4.7 - Projeção do Consumo Regional de Benzeno por Derivado
- Figura 4.8 - Comércio Líquido de Tolueno na América do Sul
- Figura 4.9 - Projeção de Consumo Global de Para-xileno por Derivado

Figura 4.10 - Histórico de Mercado de Para-xileno

Figura 4.11 - Projeção de Comércio de Para-Xileno na América do Sul

Figura 5.1 - Dados de Balanço Mássico da Cadeia de PET em Toneladas/Ano

Figura 5.2 - Esquema Simplificado do Balanço Mássico da Reforma Catalítica

Figura 5.3 - Concentração de Equilíbrio para Aromáticos C8

Figura 5.4 - Planejamento de Investimento/Produção

Figura 5.5 - Sensibilidade do Investimento em Relação às Principais Variáveis

ÍNDICE DE TABELAS

- Tabela 2.1 – Composição Típica do Óleo Cru
- Tabela 2.2 - Graduação API
- Tabela 2.3 - Propriedades de Naftas de Diferentes Origens
- Tabela 2.4 - Faixas de Derivados do Petróleo
- Tabela 3.1 - Alimentação Típica do Complexo de Aromáticos
- Tabela 3.2 - Principais Propriedades dos Xilenos
- Tabela 3.3 - Licenciadores e Respective Processos
- Tabela 4.1 - Dados de Mercado de Petroquímicos Básicos
- Tabela 4.2 - Produção Mundial de Petroquímicos Básicos
- Tabela 4.3 - Dados de Petroquímicos Aromáticos no Brasil
- Tabela 4.4 - Dados de Produção do Ácido Tereftálico no Brasil
- Tabela 4.5 - Dados de Produção de Para-Xileno no Brasil
- Tabela 5.1 - Tabela Comparativa de Demanda na SUAPE da Cadeia de PET
- Tabela 5.2 - Demanda de Para-xileno na SUAPE
- Tabela 5.3 - Comparação entre Tecnologias de Reforma Catalítica
- Tabela 5.4 – Comparação entre Petróleos
- Tabela 5.5 - Caracterização Típica da Carga para URC Petroquímica
- Tabela 5.6 - Vazões de Saída Calculadas para o Complexo de Aromáticos
- Tabela 5.7 - Consumo de Utilidades por Hora
- Tabela 5.8 - Consumo de Utilidades por Ano
- Tabela 5.9 - Investimento Fixo
- Tabela 5.10 – Demanda de Mão de Obra Indireta

Tabela 5.11 – Custos Fixos de Operação

Tabela 5.12 - Demanda de Matéria-Prima

Tabela 5.13 - Demanda de Utilidades

Tabela 5.14 – Capital de Giro

Tabela 5.15 – Investimento Total em Dólares

Tabela 5.16 - Premissas para o Cálculo do Fluxo de Caixa

Tabela 5.17 – Dados de Fluxo de Caixa para Complexo Aromático

Tabela 5.18 – Valores dos Índices de Viabilidade

CAPÍTULO 1

Introdução e Objetivos

1.1. Contextualização

A crescente demanda por materiais poliméricos traz questões muito complexas, e um dos pilares para a construção das respostas a estes novos questionamentos suporta-se sobre o estudo da utilização da produção de petróleo brasileiro de maneira ótima, visando o atendimento do mercado petroquímico e de combustíveis de forma mais homogênea.

A busca por disponibilidade de matéria-prima para a indústria petroquímica, de forma a minimizar a dependência das flutuações e disponibilidade do mercado externo, apresenta projetos desde unidades isoladas para a síntese de produtos a partir de outros compostos orgânicos além do óleo cru (como a biomassa), até mesmo a construção de pólos petroquímicos, onde o processamento de petróleo tem como exclusiva finalidade ser a carga da indústria de polímeros.

A integração refino-petroquímica é uma alternativa para melhor uso do complexo de refino de combustíveis já existentes, acarretando diminuição de custos e otimização da produção para atender a demanda interna, tanto de combustíveis quanto de intermediários de primeira geração para a indústria de plásticos.

Apesar desses complexos refino-petroquímicos serem bastante eficientes do ponto de vista técnico-econômico, o alto investimento necessário, aliado às incertezas de mercado por vezes desestimula o investimento nesse setor.

O mercado de polímeros apresenta oscilações de preços globais que não permite, muitas vezes, projetos com rentabilidade confiável para muitas indústrias. Um exemplo dessa questão é o empreendimento da Petrobras intitulado COMPERJ, no estado do Rio de Janeiro, que teve por diversas vezes seu escopo alterado, tendo como projeção inicial ser uma central petroquímica. Atualmente os planos encontram-se direcionados no sentido de atender o mercado de combustíveis, com atraso na previsão de partida de aproximadamente cinco anos.

Dentre todos os processos existentes no refino para a alimentação do mercado petroquímico, a reforma catalítica apresenta grande potencial de mercado, já que origina os três principais aromáticos de interesse petroquímico, o benzeno, o tolueno e o xileno (BTX), utilizados como precursores de diversos polímeros.

Existem 5 unidades de reforma catalítica instaladas no Brasil, duas em refinarias da Petrobras (Reduc e RPBC), sendo que apenas a segunda opera em função da produção de aromáticos e duas unidades de grande porte estão instaladas em centrais petroquímicas da Braskem, que produzem aromáticos. A última unidade opera em manguinhos, mas visando a produção de gasolina. Visando então a produção de aromáticos, temos apenas 3 unidades de reformado no Brasil.

A reforma pode também ser vista como unidade flexível, voltada tanto para a produção de gasolina, já que produz reformado de alta octanagem, quanto para a produção de BTX. No entanto esse aspecto não será abordado no presente trabalho.

1.2. Introdução

A história da petroquímica no Brasil teve seu início nos anos 50, quando o plástico começou a apresentar demanda intensiva no Brasil. A produção desse produto começa no país principalmente devido a incentivos governamentais, já que esses polímeros eram anteriormente obtidos somente através de importação.

Nos dias atuais, a principal matéria-prima da cadeia petroquímica no Brasil é a nafta, seguida do gás natural, sendo a Petrobras praticamente a única produtora destes dois insumos, atendendo a maior parte da demanda nacional com produção própria, e uma menor parte com importações. O monopólio foi quebrado em 2002 e, desde então, as centrais petroquímicas começaram a realizar importações por conta própria, afim de complementar suas necessidades.

Os petroquímicos básicos produzidos pelas unidades de craqueamento de nafta incluem:

- Olefinas, principalmente eteno, propeno e butadieno;
- Aromáticos, tais como benzeno, tolueno e xilenos.

A reforma catalítica, como já contextualizado, dá origem ao extrato aromático (BTX) e possui grande projeção de mercado, principalmente devido ao para-xileno. O para-xileno tem sido, dentre os xilenos, o composto com a maior demanda de mercado nos últimos anos, por conta, entre outros fatores, do elevado crescimento da indústria de fibras sintéticas. Este é considerado um mercado robusto, com a demanda de p-xileno crescendo na faixa de 6% a 8% ao ano. O p-xileno é usado na produção de ácido tereftálico puro (PTA) e tereftalato de dimetila (DMT), matérias-primas utilizadas para produção de PET (politereftalato de etileno), que pode ser utilizado como matéria-prima para fabricação de garrafas plásticas ou para a indústria têxtil (PET grau garrafa e grau fibra).

Para atender ao mercado, a indústria vem buscando maneiras de maximizar a produção de para-xileno. Dentre as opções disponíveis, a integração de um complexo de aromáticos junto à unidade de reforma catalítica em uma refinaria apresentaria resultados promissores para essa finalidade.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo o estudo da viabilidade da implementação de uma unidade de reforma catalítica contínua dentro da RNEST, associada a um complexo aromático, visando a maximização de para-xileno, com o objetivo de atender parte do mercado de PET da área da SUAPE.

1.3.2 Objetivos Específicos

Avaliar as principais características de produção do reformado de nafta. Estimar os custos da implementação do complexo aromático e definir assim a viabilidade econômica, tomando como base análise e projeção de mercado, principalmente de para-xileno.

CAPÍTULO 2

O Petróleo e a Indústria Petroquímica no Brasil

2.1. Apresentação

O petróleo é formado pela decomposição de matéria orgânica, e é composto principalmente de hidrocarbonetos e pequenas quantidades de outros átomos, como enxofre, nitrogênio e oxigênio, além de impurezas na forma de compostos inorgânicos, cuja composição varia conforme os campos e poços.

Tabela 2.1 – Composição Típica do Óleo Cru

Elemento	% em Peso
Carbono	83,9 - 86,8
Hidrogênio	11,4 - 14,0
Nitrogênio	0,11 - 1,70
Oxigênio	0,5
Enxofre	0,06 - 9,0
Metais (Fe, Ni, V etc.)	0,3

Fonte: HORTA NOGUEIRA, 2003

2.2. O Petróleo Nacional

O petróleo brasileiro é considerado, conforme jargão do setor, um “óleo pesado”, e isso implica em uma menor quantidade de nafta presente após destilação (cerca de 11%, enquanto o processamento de um petróleo “leve” produz aproximadamente 25 % de nafta). Ou seja, ao utilizar o petróleo nacional têm-se menor rendimento de produção no caso do presente estudo, uma vez que a nafta é carga do processo de Reforma Catalítica. Explica-se a escolha deste petróleo no projeto por questões estratégicas, aliadas ao custo/benefício em termos econômicos.

Algumas propriedades físicas gerais são utilizadas para identificação dos petróleos, tais como densidade relativa e viscosidade. Na comercialização, em geral, os petróleos que contêm uma maior quantidade de compostos mais leves são os mais valorizados porque produzirão em maior quantidade derivados mais rentáveis comercialmente. O American Petroleum Institute classifica os petróleos pelo grau de densidade API. Quanto maior o grau API do óleo, menor é a sua densidade relativa, o que equivale dizer que o óleo é mais leve. Isso implica em um maior valor comercial.

Considera-se pela densidade API a seguinte graduação:

Tabela 2.2 - Graduação API

Petróleo	Grau API
Extra Leve	> 40
Leve	33 - 40
Médio	27 - 33
Pesado	19 - 27
Extra Pesado	15 - 19
Asfáltico	< 15

Fonte: PETROBRAS, 2010

Uma vez que não existe apenas um tipo de petróleo, as características dos diferentes tipos de petróleo, como também as necessidades do mercado, vão determinar quais derivados podem ser melhor obtidos e, conseqüentemente, como uma refinaria deve operar.

Tabela 2.3 - Propriedades de Naftas de Diferentes Origens

Propriedade	Tupi (28,5°API)	Brent (37,9°API)	Marlim P-32 (19,6°API)
Faixa de Temperatura (°C)	15- 150	15 - 150	15 - 142
Densidade API (°API)	64,4	65,5	58,5
BMCI	14,3	-	23,9
MON	55	57,6	61,6
Enxofre (mg/Kg)	266	10	75
Hidrocarbonetos (% v/v)			
Parafínicos	62,26	60,91	41,88
Naftênicos	31,67	29,56	49,145
Aromáticos	6,04	9,52	9,98

Fonte: PETROBRAS, 2012

As naftas para a reforma devem ter um teor de naftênicos + aromáticos maior que 35 % para apresentar um bom rendimento. Pelo exposto na tabela 2.3 nota-se que a nafta advinda do petróleo tipo Marlim é muito adequada como carga de reforma catalítica.

2.3. Refino de Petróleo

O petróleo cru exige operações físicas e químicas que darão origem a produtos com usos e mercados específicos, desde combustíveis até matérias-primas petroquímicas. Estas operações são executadas em refinarias.

No refino empregam-se os processos de separação, de natureza física, destinados a separar o petróleo em frações, e os processos de conversão, de natureza química, que objetivam modificar a composição molecular de uma fração com o intuito de valorizá-la economicamente.

A unidade de destilação é sempre a primeira unidade de uma refinaria. Essa unidade é a única a receber o petróleo bruto e separá-lo por faixas de destilação, conhecidos como “cortes” (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Faixas de Derivados do Petróleo

Derivado	Faixas de Destilação	Principais Aplicações
GLP	C3 e C4	Intermediário na produção de petroquímicos, combustível industrial ou doméstico, aerossóis
Nafta ou Gasolina	C5 a C9-12 (140 - 220°C)	Petroquímica (nafta leve), combustível (nafta média e pesada)
Querosene	C10 a C18 (150 - 300°C)	Abastecimento de aeronaves pesadas, iluminante
Óleo Diesel	C10 a C21 (170 - 370°C)	Abastecimento de veículos pesados, instalações de aquecimento de pequeno porte
Gasóleo	250 - 550°C	Combustível na metalurgia, combustível industrial leve
Óleo Combustível	Produto de Fundo	Combustível industrial, combustível para navios
Asfalto	Produto de Fundo	Pavimentação, impermeabilização, pinturas
Parafinas	Não saem na destilação	Fabricação de fósforos, indústria de velas, papéis, vinhos, borrachas e certos produtos químicos
Vaselinas	Não saem na destilação	Produtos de beleza

Fonte: HORTA NOGUEIRA, 2003

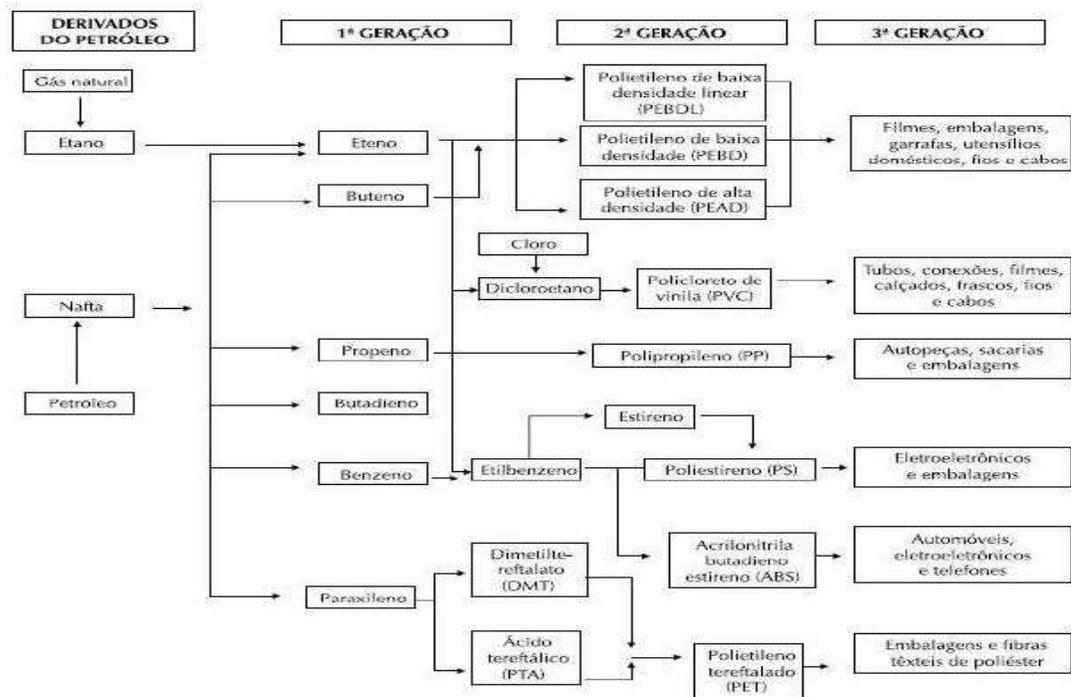
As reações que possuem maior importância para a geração de insumos petroquímicos em uma refinaria são o craqueamento - seja ele térmico (steam cracking, ou craqueamento a vapor) ou catalítico (fluid catalytic cracking, ou craqueamento catalítico em leito fluidizado) - e a reforma catalítica.

A produção petroquímica inicia-se após o refino, empregando-se nafta, subprodutos obtidos das operações de craqueamento e da reforma catalítica, ou gases provenientes do processamento de gás natural (etano e propano).

2.4. A Indústria Petroquímica

2.4.1. Cadeia Petroquímica

A cadeia petroquímica representa a transformação de produtos do refino do petróleo bruto em bens de consumo e industriais utilizados para diversas finalidades. É organizada em produtores de primeira, segunda e terceira geração com base na fase de transformação de várias matérias-primas ou insumos petroquímicos, conforme apresentado na Figura 2.1.



Fonte: ABIQUIM, 2009 (adaptado)

Figura 2.1 - Esquemática da Cadeia Petroquímica

A classificação da cadeia petroquímica segundo a Abiquim é constituída de unidades ou empresas de primeira geração, e de unidades ou empresas de segunda geração, e as empresas de terceira geração.

Os produtores chamados de Primeira Geração são as unidades produtoras de petroquímicos básicos, produtos resultantes da primeira transformação de correntes petrolíferas (nafta, gás natural, etano etc.) por processos químicos (craqueamento a vapor, pirólise, reforma catalítica etc.). Os principais produtos primários são as olefinas (eteno, propeno e butadieno) e os aromáticos (benzeno, tolueno e xilenos). Secundariamente, são produzidos ainda solventes e combustíveis.

A Segunda Geração são os produtores de resinas termoplásticas (polietilenos e polipropilenos) e de intermediários, produtos resultantes do processamento dos produtos primários, como MVC, acetato de vinila, TDI, óxido de propeno, fenol, caprolactama, acrilonitrila, óxido de eteno, estireno, ácido acrílico etc. Esses intermediários são transformados em produtos finais petroquímicos, como PVC, poliestireno, ABS, resinas termoestáveis, polímeros para fibras sintéticas, elastômeros, poliuretanas, bases para detergentes sintéticos e tintas etc.

As empresas de Terceira Geração são mais conhecidas por empresas de transformação plástica, são os clientes da indústria petroquímica que transformam os produtos da segunda geração e intermediários em materiais e artefatos utilizados por diversos segmentos, como o de embalagens, construção civil, elétrico, eletrônico e automotivo. As empresas transformadoras localizam-se, em geral, próximas ao mercado consumidor.

A cadeia petroquímica organiza-se preferencialmente em pólos a fim de aproveitar as sinergias logísticas, de infra-estrutura e de integração operacional, e, com isso, minimizar os custos. As unidades que formam um pólo petroquímico são, principalmente, as de primeira e segunda geração, podendo estar empresarialmente integradas ou não. O panorama atual da indústria petroquímica brasileira pode ser mapeado a partir da análise da estrutura de oferta dos principais produtos de primeira e segunda geração.

Os complexos integrados às centrais de matérias-primas em operação no Brasil são: Pólo de Capuava (SP), Pólo de Camaçari (BA), Pólo de Triunfo (RS) e Pólo de Duque de Caxias (RJ). Atualmente está em fase de construção um pólo na região de Suape (PE), nosso foco de mercado no presente trabalho.

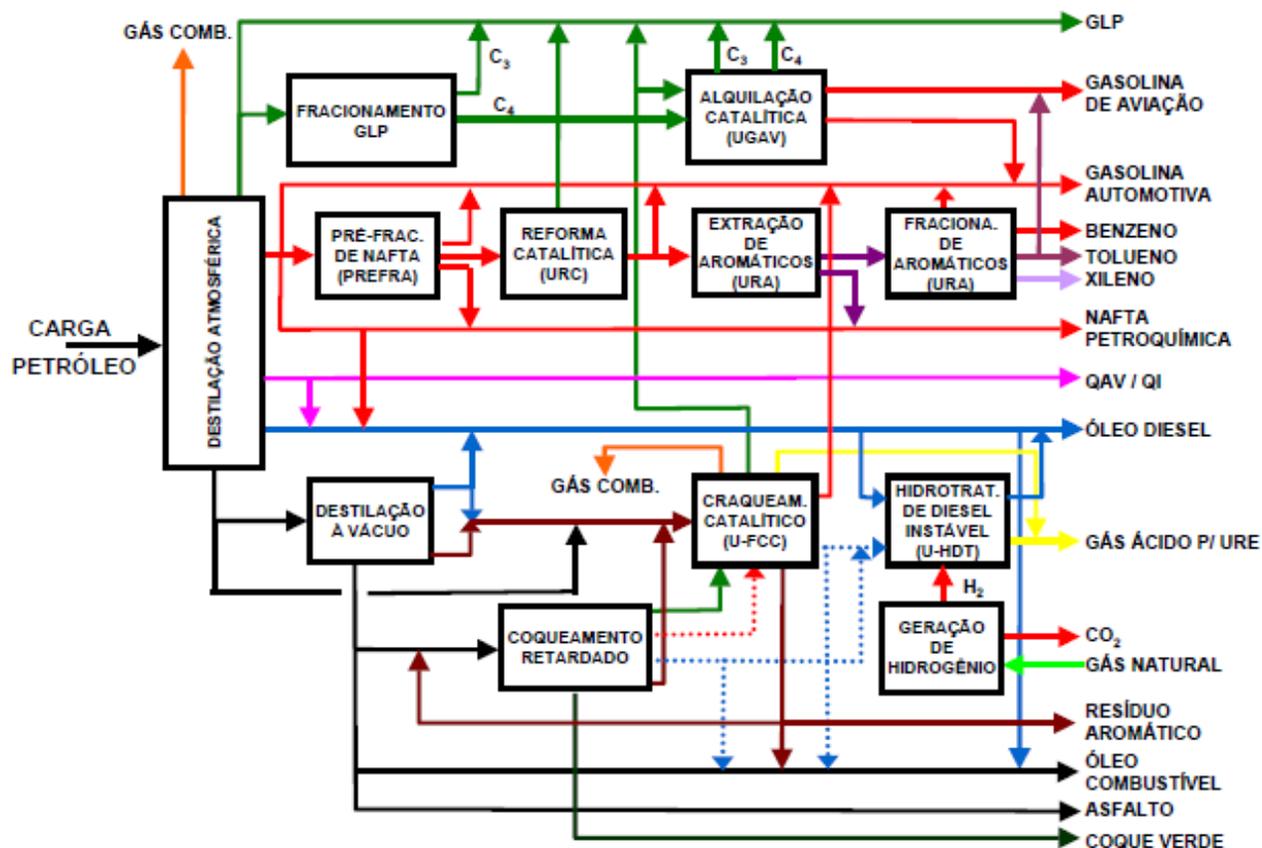
2.4.2. Dados da Indústria Petroquímica

A nafta é responsável por cerca de 70% da produção mundial de BTX, aromáticos fundamentais para a indústria petroquímica. Ela pode ser classificada de acordo com o processo de origem, tais como:

- Nafta DD – Nafta de destilação direta (obtida diretamente da destilação de Petróleo);
- NK – Nafta de Coque (obtida através do processo de coqueamento retardado usando como carga resíduo de vácuo e gasóleo);
- NC – Nafta Craqueada (obtida através do processo de craqueamento catalítico usando como carga gasóleo pesado de vácuo (GOP)).

O tipo de matéria-prima empregado pela petroquímica tem rendimentos variados e determina um mix diferenciado de produtos. Sua escolha decorre da maior disponibilidade de uma ou outra matéria-prima, respectivos preços relativos e dos produtos finais desejados.

A Figura 2.2 mostra um esquema de refino orientado para produção de combustíveis e aromáticos. Trata-se de uma refinaria bastante flexível porque possui vários processos que a capacitam produzir produtos petroquímicos e gasolina de alta octanagem.



Fonte: PETROBRAS, 2012

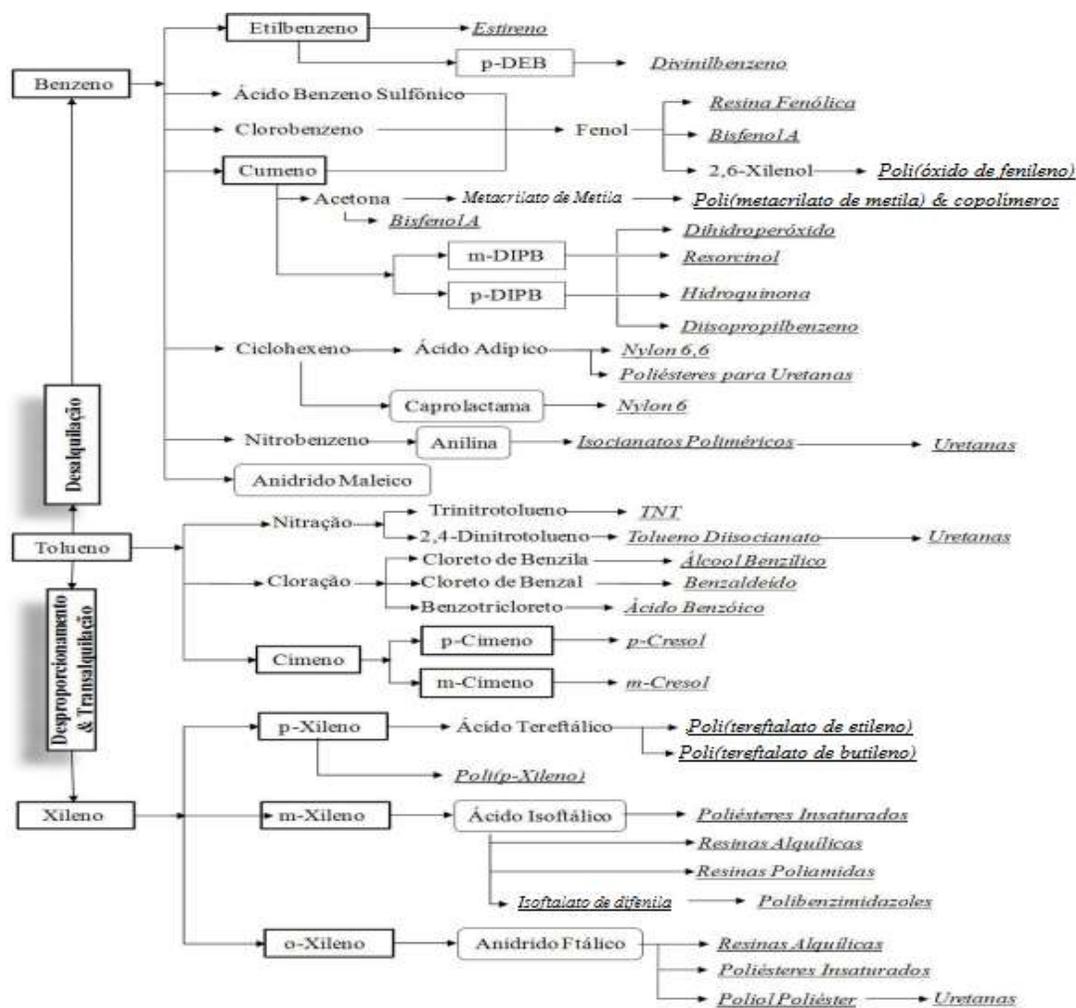
Figura 2.2 - Fluxograma Simplificado de Refino Orientado para Produção de Combustíveis e Aromáticos

CAPÍTULO 3

Petroquímicos Aromáticos

3.1. Cadeia de Aromáticos

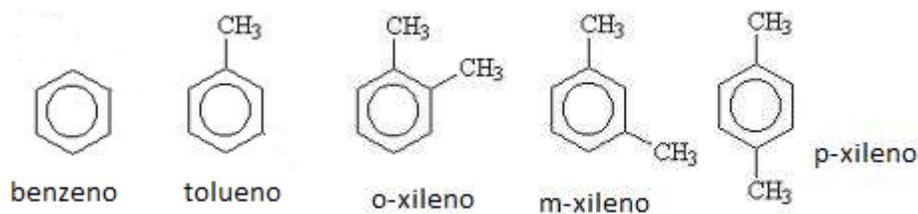
Os compostos aromáticos têm uma ampla variedade de aplicações nas indústrias química e petroquímica. São matéria-prima importante para muitos dos intermediários de commodities petroquímicos e produtos químicos de valor, tais como monômeros para poliésteres, plásticos de engenharia, produtos intermediários para detergentes, produtos farmacêuticos, produtos agrícolas e explosivos. Os aromáticos comercialmente mais importantes são o benzeno, tolueno, e xilenos mistos (BTX). A esquemática de produção de produtos derivados desses aromáticos é apresentada abaixo.



Fonte: Adaptado de TSAI et al., 1998
 Figura 3.1 - Cadeia Aromática

As moléculas dos aromáticos têm como estrutura base um ciclo fechado de seis átomos de carbono que estão ligados por uma alternância de ligações simples e duplas. A forma mais simples é o benzeno, que tem apenas a estrutura do anel base, enquanto que os compostos aromáticos mais pesados têm grupos alquil adicionais fora do anel. O tolueno (C7) tem um grupo adicional, enquanto o xileno (C8) possui dois grupos alquila adicionais.

Os xilenos mistos incluem três isômeros: para-, orto-, e meta-xileno, o que reflete a posição diferente dos grupos alquila em torno do anel, como visto na Figura 3.2.



Fonte: Elaboração Própria

Figura 3.2 - Estrutura Molecular dos Principais Aromáticos

Além das variáveis economicamente relevantes como as demandas de mercado, matérias-primas, disponibilidade e custo, as legislações ambientais como as especificações do teor de aromáticos na gasolina são aspectos igualmente importantes. As restrições de composição impostas sobre a gasolina reformulada não têm só impacto significativo na composição da gasolina, mas também na economia dos processos de produção de compostos aromáticos.

Existem várias vias de processo para a produção e recuperação de compostos aromáticos, sendo o uso de um complexo de aromáticos a prática mais frequentemente utilizada.

A etapa primária de produção e recuperação de aromáticos acontece através da extração de gasolina de pirólise ou reformado. O reformado é produto da reforma catalítica da nafta, e a gasolina de pirólise é um sub-produto líquido formado na produção de olefinas pelo craqueamento do líquido de alimentação, como a nafta.

A gasolina de pirólise contém uma elevada proporção de aromáticos e é tipicamente rica em benzeno, enquanto que xilenos e tolueno são os principais componentes do reformado, como mostrado na tabela abaixo.

Tabela 3.1 - Alimentação Típica do Complexo de Aromáticos

Componente	Gasolina de Pirólise	Média URC
Tolueno	Traços	Traços
Etilbenzeno	47	21
Para-xileno	11	18
Meta-xileno	25	44
Orto-xileno	17	16
C9 aromáticos	Traços	Traços

Fonte: ChemSystems, 1997

A etapa secundária, o complexo de aromáticos propriamente dito, possui como alimentação a corrente de saída da etapa primária e pode ser caracterizada pelas principais reações:

- Hidrodealquilação (HDA) - dos mais altos aromáticos para benzeno e tolueno;
- Desproporcionamento de Tolueno (TDP) para benzeno e xilenos;
- Transalquilação de tolueno e aromáticos C9 para produção de xilenos;
- Alquilação de tolueno com metanol para xilenos, particularmente para-xileno;
- Isomerização de xilenos em para-xilenos.

3.2. Benzeno

O benzeno é utilizado principalmente como intermediário químico. Seus derivados mais largamente produzidos incluem o estireno, usado para produzir polímeros e plásticos, fenol para resinas e adesivos (via cumeno) e ciclohexano, usado para manufatura de náilon.

O benzeno é quase inteiramente usado como matéria-prima na produção de outros produtos petroquímicos sendo raramente usado como solvente por causa da sua potencial toxidez.

A reforma catalítica e a pirólise da gasolina correspondem aproximadamente 70% da produção mundial de benzeno.

3.3. Tolueno

A principal utilização de tolueno químico é na produção de tolueno di-isocianato (TDI), um intermediário na produção de poliuretanos flexíveis, do tipo vulgarmente utilizado para a espuma em assentos de automóveis e domésticas. Reforma catalítica é a principal fonte devido à concentração mais elevada de tolueno na matéria-prima. Alguns produtores também extraem tolueno, assim como o benzeno, a partir de gasolina de pirólise.

O tolueno é também utilizado como um solvente, frequentemente em revestimentos, no entanto esta utilização final tem diminuído devido a regulamentos mais rigorosos de qualidade de ar. Outros usos químicos de tolueno são cloreto de benzilo, cresóis e corantes. A maioria destes são mercados maduros e em declínio, portanto, o consumo global deverá diminuir.

A maior parte do tolueno é convertido em benzeno ou para-xileno por desproporção, transalquilação ou hidrodealquilação, ou deixadas no fluxo de produtos aromáticos para mistura de gasolina, em que é preferível devido suas propriedades de “booster” de octanagem.

3.4. Xilenos

O valor de xilenos para aplicações químicas é normalmente mais elevado do que o valor de mistura de gasolina, e a maioria dos xilenos são, portanto, extraídos por uso de produtos químicos. O mercado de poliéster atraiu refinarias para extrair mais xilenos mistos para produção de para-xileno.

O isômero orto-xileno é consumido principalmente na produção de anidrido ftálico, matéria-prima principal para plastificante, resinas de poliéster insaturado(UPR), vulgarmente utilizados em materiais compósitos, tais como fibra de vidro.

Meta-xileno é oxidado para produzir o ácido isoftálico, o qual é usado em pequenas quantidades como um comonômero com ácido tereftálico para aumentar a transparência das resinas de embalagens de PET, e é também utilizado como um substituto para o anidrido ftálico em resinas de poliéster insaturadas.

A extração de orto-xileno é difundida globalmente, enquanto que apenas um número muito pequeno de plantas é capaz de extrair meta-xileno puro.

A taxa de crescimento elevada para embalagens PET e fibras de PET, principalmente na Ásia, fez do para-xileno o aromático de mais rápido crescimento.

Quase todo para-xileno é consumido na produção de ácido tereftálico purificado (PTA), ou o seu predecessor tereftalato de dimetila (DMT), a matéria-prima para as fibras de poliéster e resinas (PET). O PTA substituiu o DMT na produção de PET, sendo o DMT muito pouco usado atualmente.

O crescimento da demanda de para-xileno por muitos anos tem superado o crescimento da demanda para benzeno e tolueno, e tem motivado o uso de tecnologias em complexos aromáticos que são mais seletivos em relação à produção de para-xileno, e conversão de outros compostos aromáticos em para-xileno.

A integração entre o refino e a petroquímica é uma alternativa que vem contribuindo mundialmente para o atendimento da crescente demanda de petroquímicos, como vem sendo introduzido.

Os xilenos se encontram na forma de mistura de isômeros de xilenos, necessitando de processos de separação para isolar o produto de interesse de mercado. Destes, o produto de maior importância de mercado é o p-xileno, que será analisado neste trabalho.

Como pode ser visto a partir dos dados da família dos xilenos apresentados na tabela 3.2, os pontos de ebulição e as volatilidades relativas dos isômeros meta e para são muito próximas, não sendo viável a separação destes compostos através de processos mais simples como a destilação. Comparando o o-xileno com m-xileno e p-xileno, observa-se que a diferença das suas volatilidades relativas permite que o isômero orto seja separado destes por uma destilação fracionada. No entanto, para que a separação individual do para-xileno possa ser concretizada é preciso um conjunto de processos que são integrados ao complexo de aromáticos.

Tabela 3.2 - Principais Propriedades dos Xilenos

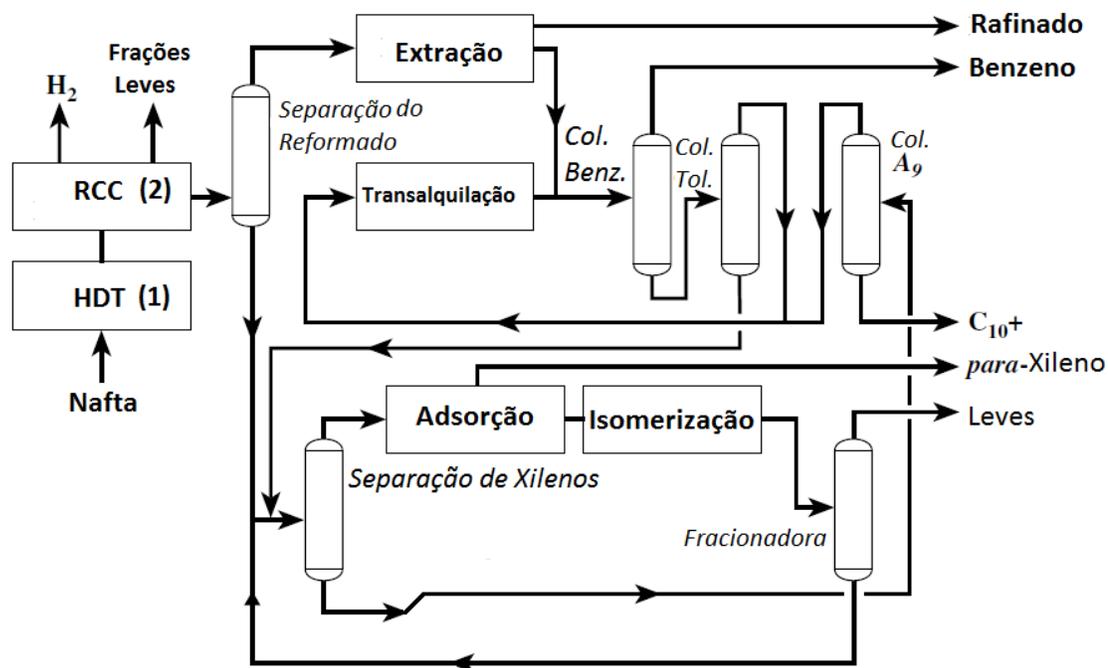
Propriedade	Para-xileno	Meta-xileno	Orto-xileno
Massa Molar	106,16	106,16	106,16
Densidade a 20°C	0,861	0,867	0,881
Ponto de Ebulição (°C)	138,5	139,3	144
Ponto de Fusão (°C)	13,2	- 47,4	- 25
Volatilidade Relativa a 138°C	1	0,981	0,855

Fonte: PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK, 1997

3.5. Complexo de Aromáticos

Complexo aromático é a denominação dada ao conjunto de unidades de processos integradas com o objetivo de converter nafta de petróleo e gasolina de pirólise em hidrocarbonetos aromáticos, como: benzeno, tolueno, para-xileno (p-xileno ou pX), meta-xileno (m-xileno ou mX), orto-xileno (o-xileno ou oX) ou xilenos mistos. Em geral, estes produtos apresentam elevado grau de pureza, em virtude dos processos presentes a jusante na cadeia de produção de produtos petroquímicos, que possuem catalisadores com restrições cada vez maiores em termos de teores de contaminantes presentes em suas cargas.

O presente trabalho visa a maximização da produção de xilenos, especificamente o p-xileno. A descrição que se segue é do esquema de produção de um complexo aromático cujo objetivo principal é a produção de p-xileno.



Fonte: HANDBOOK OF PETROLEUM REFINING PROCESSES, 2004 (adaptado)
 Figura 3.3 - Complexo de Aromáticos visando a Produção de Para-xileno

Inicialmente a carga de um complexo aromático passa por um hidrotratamento (HDT, 1), para remoção de impurezas que são venenos para o catalisador da reforma catalítica.

A reforma catalítica contínua (RCC) é o primeiro processo que receberá a carga hidrotratada, mas vale ressaltar que o hidrotratamento também é importante devido aos demais processos catalíticos presentes no complexo aromático, como isomerização e transalquilação. A etapa da reforma é a etapa na qual ocorre a geração dos anéis aromáticos.

As demais unidades separam os vários componentes aromáticos em produtos individuais ou convertem espécies aromáticas em produtos aromáticos de maior valor agregado.

Na extração de aromáticos, a fração aromática (denominada extrato) é separada da fração não aromática, denominada refinado, em geral através de um processo de extração líquido-líquido ou destilação extrativa. O refinado pode ser utilizado como solvente parafínico, como corrente para formulação de gasolina ou ainda ser carga de uma unidade de pirólise.

O extrato passa então através de colunas de destilação simples, nas quais separa-se benzeno, tolueno e mais pesados, que são direcionados para a fracionadora de C8+.

A fração mais leve da fracionadora de C8+, rica em xilenos mistos, segue para uma unidade de separação para recuperação do para-xileno. Desta unidade, sai a corrente de p-xileno para estocagem e uma corrente pobre em p-xileno que segue para uma unidade de conversão catalítica denominada isomerização, onde os isômeros orto e meta-xileno são convertidos em para-xileno e o etilbenzeno pode ser levado a benzeno e etano ou ser convertido em xilenos, de acordo com o catalisador utilizado.

A corrente de fundo da fracionadora de C8+, constituída de hidrocarbonetos C9+, é enviada para mais uma fracionadora onde os seguintes cortes são obtidos: C9/C10 (topo) e aromáticos pesados (fundo: C10+). A corrente de topo é enviada para uma unidade de conversão química chamada transalquilação.

Como o objetivo é a maximização da produção de para-xileno, o tolueno possui dois destinos: a transalquilação, onde há a produção de benzeno e xilenos, a partir do tolueno e da corrente C9/C10 e desproporção onde, assim como na transalquilação, há a produção de benzeno e xilenos, porém sem a utilização da corrente C9/C10. A combinação da transalquilação com desproporção fornece um produto com razão para-xileno/benzeno maior que aquela obtida utilizando-se somente um dos destinos.

Um esquema com essas duas unidades seria uma configuração bastante flexível e pode até mesmo duplicar o rendimento de para-xileno se comparado com uma configuração sem o uso da desproporção e transalquilação.

Os produtos destas unidades de conversão são direcionados para a torre de destilação recuperadora de benzeno. A mistura de xilenos é recuperada no fundo da fracionadora de tolueno e então direcionada para a fracionadora de C8+.

As licenciadoras e os respectivos processos disponíveis para cada processo do complexo de aromáticos na obtenção de para-xileno podem ser vistos na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Licenciadores e Respetivos Processos

Tecnologia	Licenciador	Processo
Reforma Catalítica	UOP	CCR Platforming™
	Axens	Aromizing™
	Chevron	Aromax®
Extração de Aromáticos	UOP	Sulfolane
	Axens	Morphylane
	Krupp UHDE	Morphylane® (licenciado pela Axens)
	GTC	GT - BTX®
Separação do P-Xileno	UOP	Parex™, Badger/Niro Para-xylene
	Axens	Eluxyl®

	Technology	CrystPX SM
Isomerização	UOP	Isomar TM
	Axens	XyMax SM , Oparis TM
	GTC	GT-IsomPX SM
Conversão	UOP	Tatoray TM , PX-PLUS TM , TAC9 TM
	Axens	MTDP-3, HDA, TransPlus SM , PxMax SM
	GTC	GT-STDP SM , GT-TransAlk SM
	Technology	ATA

Fonte: RUIVO, D. S. (modificado), 2010

No presente trabalho as tecnologias escolhidas para todas as unidades de processamento são da UOP, devido a licenciadora possuir todas as unidades do complexo aromático requerido e a existência de dados de fácil acesso para os cálculos necessários de custos que serão feitos nos capítulos posteriores.

3.6. Descrição das Unidades do Complexo Aromático

3.6.1. Unidade de Reforma Catalítica

Sendo a única unidade de refino que realmente produz compostos aromáticos a partir de não aromáticos, assim como uma significativa fornecedora de hidrogênio, a unidade de reforma seria a unidade base para prover a alimentação do complexo aromático.

A reforma é um processo catalítico que ocorre em condições operacionais específicas e utiliza catalisadores adequados para converter naftênicos e parafinas em aromáticos e isoparafinas. O processo pode ser orientado no sentido de se alcançar um dos dois objetivos abaixo:

- Obtenção de um produto (gasolina) com elevado índice de octanagem, próprio para ser usado como combustível em motores de combustão interna, principalmente aqueles com alta taxa de compressão;
- Obtenção de um produto rico em hidrocarbonetos aromáticos nobres (BTX), os quais, uma vez recuperados isoladamente com alto grau de pureza, são usados como matéria-prima em indústrias químicas e petroquímicas.

Como o objetivo do presente projeto é a produção de p-xileno, o segundo caso de obtenção acima descrito será o foco do presente trabalho.

O fator determinante para que se alcance qualquer um dos resultados, em uma determinada refinaria, é o tipo de fração de nafta utilizada como carga, particularmente a sua faixa de destilação. Além disso, a origem do petróleo do qual derivou a nafta empregada, o processo anterior ao qual foi submetida e as condições operacionais da reforma também são características importantes.

As cargas típicas são a nafta de destilação direta (nafta DD) e a nafta de coqueamento hidrotratada (NKH) e os processos de reforma são classificados como contínuo (CCR), cíclico ou semirregenerativo dependendo da frequência de regeneração do catalisador.

No processo semirregenerativo, os reatores são de leito fixo, e a regeneração do catalisador é realizada fora da operação normal, em intervalos que podem variar de 6 meses a 18 meses ou até mais, dependendo da unidade e severidade do processo. Já no processo CCR, a unidade é projetada para permitir a remoção do catalisador, sua regeneração e reposição nos reatores durante a operação normal.

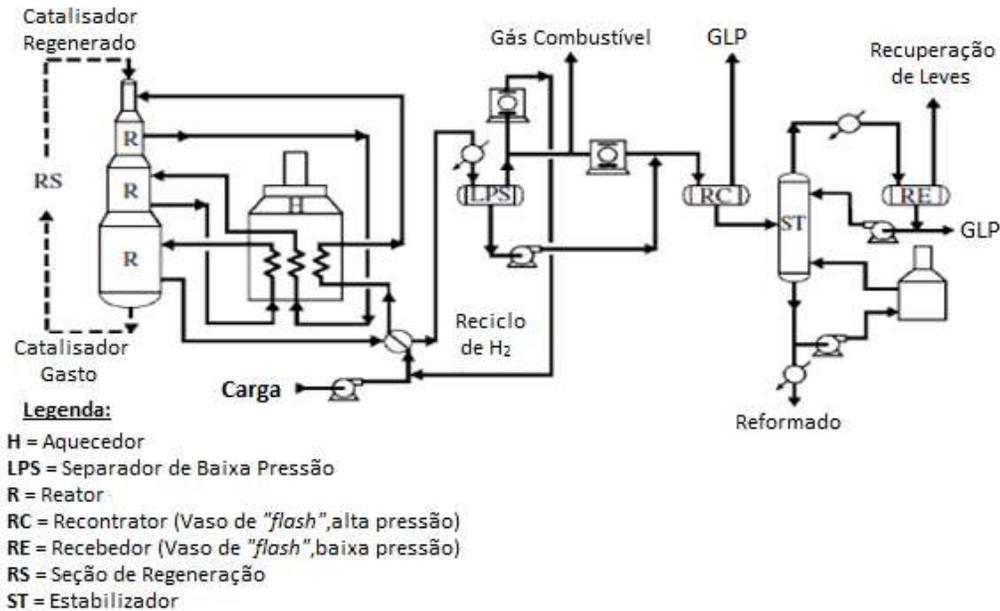
O processo cíclico situa-se entre esses dois extremos, uma vez que existe um reator adicional, de forma que, quando a atividade do leito catalítico de um determinado reator cai abaixo de um nível aceitável, esse reator é retirado de operação e outro reator, cujo leito já foi regenerado, é alinhado no seu lugar.

O CCR foi desenvolvido devido a busca por gasolina de alta octanagem e a alta demanda de compostos aromáticos pelas indústrias petroquímicas. A tecnologia tornou possível a melhoria do catalisador e do processo de reforma, bem como a necessidade de regeneração do catalisador em intervalos mais curtos. Na unidade de CCR, o catalisador parcialmente desativado no reator é continuamente substituído por outro catalisador que tenha sido recentemente regenerado em um regenerador externo (secção CCR). Assim, as características contínuas de alta seletividade e atividade associadas ao novo catalisador podem ser alcançadas a partir de severidades significativamente mais elevadas do que as comparadas ao processo não-contínuo. A regeneração contínua permite operar a pressões mais baixas que favorecem as reações de desidrogenação dos naftênicos e desidrociclicação de parafinas, que são as mais desejáveis.

No CCR, o catalisador é regenerado, aproximadamente a cada 3 dias, e o rendimento mantém-se constante em níveis de catalisador fresco.

De maneira geral, uma unidade de reforma catalítica compreende três seções principais: pré-tratamento da carga, reforma catalítica propriamente dita e a estabilização do reformado.

Na figura 3.6 é apresentado o fluxograma de processo contínuo de reforma licenciado pela UOP.



Fonte: HANDBOOK OF PETROLEUM REFINING PROCESSES, 2004 (traduzido)

Figura 3.6 - Processo Contínuo da UOP

3.6.1.3. Torre Estabilizadora de Carga

A função da torre estabilizadora é produzir um reformado despentanizado na operação de aromáticos, obtidos pelo fundo da torre.

Na torre estabilizadora são separadas normalmente uma corrente de gás combustível, uma de GLP (ambos pelo topo) e uma corrente líquida, que sai pelo fundo da torre, que é o reformado catalítico. Em seguida, o reformado será enviado para unidade de recuperação de aromáticos conforme será apresentado a seguir.

3.6.2. Unidade de Extração de Aromáticos

O principal processo de extração de aromáticos existente é o Sulfolane cujo objetivo é recuperar compostos aromáticos a altas purezas a partir de misturas de hidrocarbonetos.

O processo Sulfolane leva o seu nome a partir do solvente usado: tetrahidrotiofeno 1,1 -dióxido de carbono, ou sulfolano.

O processo Sulfolane pode ser aplicado como uma combinação de extração líquido-líquido (ELL) e destilação extrativa (DE) ou, com uma alimentação adequada, DE sozinho. A escolha é função da carga de alimentação e os objetivos de processamento.

O processo Sulfolane é geralmente incorporado num complexo de aromáticos para recuperar benzeno e tolueno a altos graus de pureza a partir de produtos de reformado. Geralmente, a unidade está localizada próximo da coluna de reformado onde a fração C6+ da carga do reformado serve como alimentação da unidade.

O extrato aromático da unidade Sulfolane é tratado com argila para remover traços de olefinas, e benzeno, tolueno e os produtos individuais são recuperados a partir de fracionamento simples.

O refinado com parafínicos é geralmente misturado ao pool da gasolina ou utilizado em solventes alifáticos.

3.6.3. Unidade de Transalquilação e Desproporcionamento

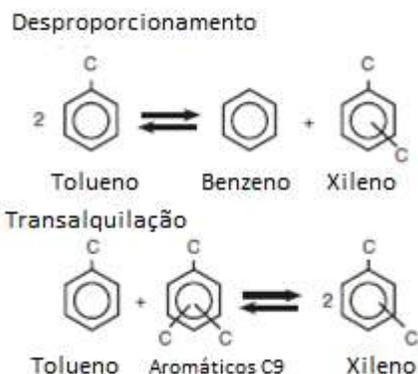
Existem duas técnicas principais para conversão do tolueno excedente em outros compostos aromáticos, a transalquilação e o desproporcionamento (Figura 3.7).

As tecnologias de transferência de grupo metila, que incluem desproporcionamento e transalquilação, convertem tolueno a benzeno e xilenos simultaneamente, enquanto o esquema de hidrodessalquilação produz prioritariamente benzeno.

A demanda crescente por xilenos faz com que os processos de transferência de grupo metil sejam preferidos frente ao processo de hidrodessalquilação. Em comparação com as reações de transferência de grupo metil, os processos de hidrodessalquilação operam a temperaturas de reação mais altas e requerem custos de operação e investimento de capital cerca de 10% mais altos (JEANNERET et al., 2003).

Os produtos principais do desproporcionamento de tolueno são benzeno e xilenos. Em adição à reação principal, ocorrem também algumas reações laterais incluindo desproporcionamento de xilenos produzindo A9 (Aromáticos com 9 átomos de carbono) e desalquilação de alquilbenzenos produzindo gases leves, o que se deseja evitar.

Tanto o processo de transalquilação quanto o processo de desproporcionamento do tolueno pode converter tolueno e aromáticos C9 em xilenos e benzeno. Esses dois processos são empregados nos complexos aromáticos independentemente ou associados entre si para aumentar a produção de xileno e benzeno a partir de reforma catalítica.



Fonte: HANDBOOK OF PETROLEUM REFINING PROCESSES, 2004 (traduzido)
 Figura 3.7 - Principais Reações da Transalquilação e Desproporcionamento

Os processos de transalquilação em leito fixo geralmente têm maior rendimento líquido do que o processo de leito móvel. Logo, o processo Tatoray UOP fornece uma maneira ideal de produzir adicionais xilenos mistos com baixas quantidades de tolueno.

Para um complexo que inclui um processo de transalquilação, cerca de 50% dos xilenos do complexo vem dessa reação. A incorporação de uma unidade Tatoray num complexo de aromáticos pode mais do que dobrar o rendimento de p-xileno tendo a nafta como matéria-prima.

3.6.4. Unidade de Recuperação de para-Xileno

Como a diferença nos pontos de fusão são maiores que as diferenças dos pontos de

ebulição entre os xilenos, os primeiros processos de separação para a produção de p-xileno foram processos de cristalização. Na cristalização, quando a mistura de xilenos é resfriada, o isômero p-xileno se cristaliza primeiro, por ter um ponto de fusão maior que os demais isômeros, separando-se da mistura. Neste processo, ocorre a formação de uma mistura eutética de p-xileno e m-xileno, atingida em temperaturas que variam entre -60°C a -68°C , dependendo da composição da mistura. É devido à formação desta mistura que o rendimento por passe do processo de cristalização não ultrapassa 65%, para correntes com composição de aproximadamente 20% de p-xileno.

Além da técnica de cristalização, uma opção para a separação por destilação, é a adsorção. A principal vantagem do processo de separação do para-xileno por adsorção em

comparação com o processo de cristalização está na recuperação do isômero desejado. Na adsorção é possível alcançar valores de 97% de recuperação.

O refinado proveniente do uso da tecnologia de adsorção é praticamente isento de para-xileno (menor que 1% em massa), já no líquido proveniente da cristalização a concentração chega a 9,5% (em massa).

A adsorção é uma operação de transferência de massa do tipo sólido-fluido na qual se explora a habilidade de certos sólidos em concentrar, na sua superfície, determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas, o que permite separá-las dos demais componentes dessas soluções. A dessorção sólido-fluido, de forma análoga à adsorção, é um fenômeno de transferência de massa no qual moléculas ou agregados, são transferidos da fase sólida para a fase fluida.

Quanto ao modo de operação, os processos de separação por adsorção podem ser classificados como: processos em batelada cíclica e processos contínuos em contracorrente, que maximizam as taxas de transferência de massa entre as fases, mas também envolvem uma operação mais complexa. Para que um processo adsorptivo seja aplicável comercialmente geralmente é necessária a operação contínua, mas outros parâmetros envolvidos devem ser bem avaliados, principalmente, as características do adsorvente, como seletividade, custo e regeneração, o equipamento a ser utilizado e o agente empregado na regeneração do adsorvente.

A aplicação de processos de adsorção para a separação de misturas vem se aprimorando ao longo dos anos com a descoberta de novas aplicações na petroquímica e com descobertas em outras áreas de conhecimento, como o desenvolvimento das zeólitas, adsorventes microporosos de origem natural ou sintética, que apresentam alta capacidade de adsorção, com diâmetro de poros e estrutura cristalina bem definida e que podem apresentar, conforme suas características, alta seletividade por determinadas substâncias.

Com relação às seletividades, a zeólita do tipo faujasita apresenta seletividade a determinado isômero de acordo com a natureza do cátion presente na estrutura da mesma. Por exemplo, a zeólita NaY tem maior seletividade ao meta-xileno, já as zeólitas KY e BaY ao para-xileno.

O processo em leito móvel simulado é um processo contínuo contracorrente que apresenta uma grande vantagem frente aos demais por não requerer o movimento da fase sólida adsorvente. Neste equipamento o movimento do sólido é simulado pela troca dos pontos de injeção e coleta das correntes fluidas ao longo da unidade, daí o nome do processo.

A tecnologia Leito Móvel Simulado (LMS) foi desenvolvida pela UOP (Universal Oil Products) na década de 60, quando começaram a surgir os processos SORBEX, uma série de processos em leito móvel simulado visando, em sua maioria, à separação e/ou à recuperação de compostos petroquímicos. Em todos os processos SORBEX, a fase fluida é líquida, mas também poderia ser vapor.

Atualmente, na família SORBEX, está presente o processo PAREX de separação de p-xileno de uma mistura de isômeros aromáticos, onde na purificação de xilenos, tem-se que no processo PAREX, o p-xileno é o componente pelo qual o sólido tem maior afinidade e é retirado na corrente de extrato.

O processo PAREX produz p-xileno com alta pureza a partir de uma mistura de tais compostos e tem sido a aplicação industrial de maior sucesso. Segundo Cavalcante Jr. (1998), 70 unidades encontram-se em operação em todo o mundo.

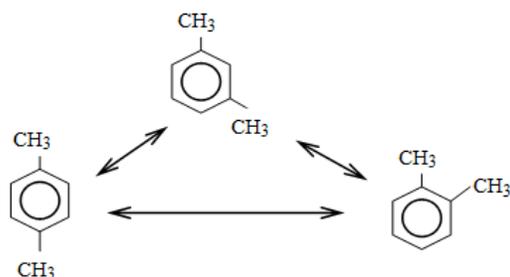
3.6.5. Unidade de Isomerização

Como a unidade de isomerização não pode exceder a concentração de equilíbrio do para-xileno (23 a 24% em massa), qualquer para-xileno excedente que chega na carga desta unidade diminui a quantidade de para-xileno produzido no processo de conversão. Então, para um dado tamanho de reator, uma unidade de isomerização integrada a uma unidade de adsorção é necessária.

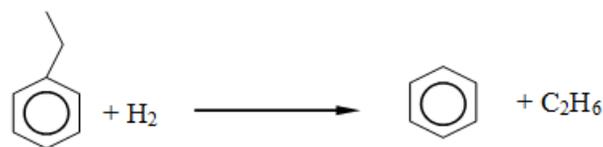
As principais reações catalíticas que ocorrem no processo são a isomerização de xilenos e desalquilação de etilbenzeno (Figura 3.8).

O processo de isomerização visa converter uma carga deficiente em para-xileno em uma mistura em equilíbrio de xilenos, de modo a obter um maior rendimento em para-xileno. Além disso, a conversão de etilbenzeno é desejada para evitar o seu acúmulo no circuito de xileno, que poderia ter consequências negativas na seção de Recuperação de para-xileno. As reações de desalquilação de etilbenzeno também resultam em uma maior produção de benzeno no complexo.

Isomerização de Xilenos



Desalquilação de Etilbenzeno

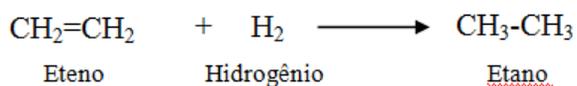


Fonte: Elaboração Própria

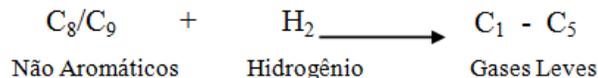
Figura 3.8 - Principais Reações da Isomerização

Além disso, algumas reações laterais podem ocorrer, tais como craqueamento de alguns não aromáticos presentes em hidrocarbonetos leves, devido à função ácida do catalisador, ou hidrogenação de olefinas, devido à função metal do catalisador, conforme equações (Figura 3.9).

Hidrogenação pela função metal



Conversão de Não Aromáticos



Fonte: Elaboração Própria

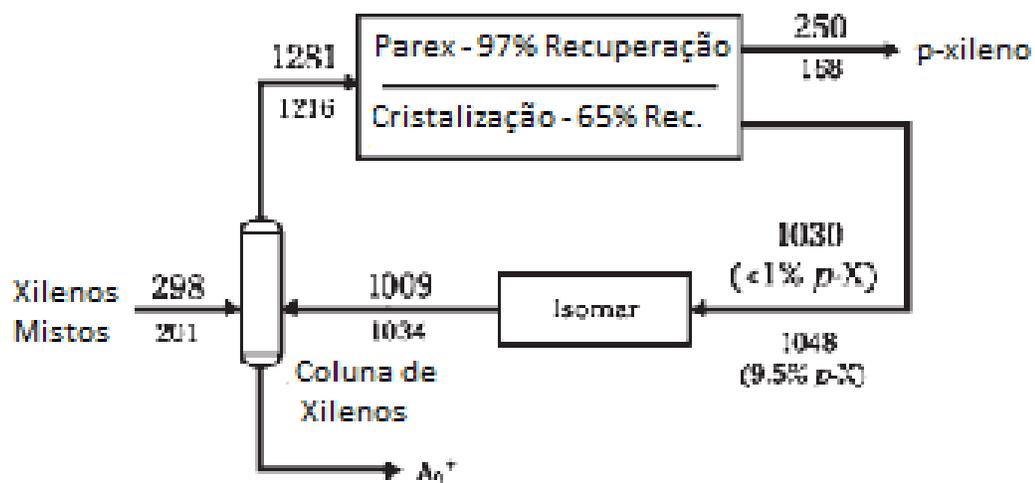
Figura 3.9 - Reações Laterais da Isomerização

O processo UOP Isomar é um dos processos utilizados para maximizar a recuperação de um isômero xileno particular, a partir de uma mistura de isômeros aromáticos C8. O processo é mais frequentemente aplicado para a recuperação de para-xileno, mas pode ser utilizado também para maximizar a recuperação do orto-xileno ou meta-xileno.

O termo xilenos mistos é usado para descrever uma mistura de isômeros C8 aromáticos contendo uma distribuição de quase equilíbrio de para-xileno, orto-xileno, meta-xileno, e etilbenzeno (EB).

No caso da recuperação de para-xileno, uma alimentação mista xilenos é carregada então em uma unidade de UOP Parex onde o isômero para-xileno é preferencialmente extraído a 99,9% de pureza em peso e 97% em peso de recuperação por passagem.

O refinado do Parex é quase inteiramente desprovido de para-xileno (1% de para-xileno) e, em seguida, é enviado para a unidade Isomar. A unidade Isomar restabelece uma distribuição de quase equilíbrio de isômeros de xileno, criando essencialmente para-xileno adicional a partir do restante de isômeros orto e meta. O efluente da unidade Isomar é então reciclada para a unidade Parex para recuperação adicional de para-xileno. Desta forma, os isômeros orto e meta e EB são reciclados para a extinção como é mostrado na Figura 3.10.



Vazões em KMTA

Fonte: HANDBOOK OF PETROLEUM REFINING PROCESSES, 2004 (traduzido)
 Figura 3.10 - Recuperação de Para-xileno a partir de Xilenos Mistos

CAPÍTULO 4

Análise Mercadológica

4.1. Mercado de Petroquímicos

A indústria de compostos aromáticos é influenciada não só pela disponibilidade de matéria-prima e tecnologia, mas também pela demanda de combustíveis e derivados.

No presente trabalho será considerado a produção de para-xileno para atendimento de demanda interna e exportação das quantidades de benzeno e tolueno recuperadas a partir do processo de maximização do produto de interesse, tendo em vista a certeza de existência desses mercados externos.

A tabela a seguir fornece a tendência de mercado para alguns compostos petroquímicos.

Tabela 4.1 - Dados de Mercado de Petroquímicos Básicos

Produto	Valor (US\$ FOB mil)			Volume (tonelada)			Preço (US\$/t)		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Benzeno	326.202	185.768	262.356	335.005	277.395	284.536	974	670	922
Para-xileno	148.942	124.666	165.716	136.341	145.221	169.266	1.092	858	979
1,3 Butadieno	52.205	64.401	134.089	28.411	85.776	76.415	1.837	751	1.755
Propeno	23.285	108.939	196.451	29.630	143.911	166.475	786	757	1.180
Hidrocarbonetos acíclicos não saturados	49.472	42.978	55.921	48.678	79.238	67.702	1.016	542	826

Fonte: Elaboração própria com base no Sistema AliceWeb/Secex

Embora seja de conhecimento geral que os preços de petroquímicos, principalmente de primeira geração, apresentam variações significativas ao longo dos anos, percebe-se certa estabilidade de produção e valores para o para-xileno, mesmo em época de forte crise econômica, como a apresentada.

4.2 Matérias-Primas

Todo BTX recuperado em uma refinaria de petróleo é produzido em uma unidade de reforma catalítica, uma tecnologia atualmente dirigida principalmente para a elevação da octanagem da gasolina. As composições de benzeno, tolueno e xilenos (BTX), como já citado, dependem da fonte.

Para se chegar ao para-xileno precisa-se primeiramente de nafta reformada, sendo essa corrente separada no complexo aromático por unidades específicas para alcançar o rendimento esperado do nosso produto de interesse.

4.2.1. Produção

Os dados de produção de petroquímicos básicos e capacidades instaladas foram compilados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Produção Mundial de Petroquímicos Básicos

Produção Mundial (Mil t / 2006)							
Região	Produção Eteno	Produção Propeno	Produção Butadieno	BTX			
				Produção	% Produtiva por região		
América do Norte	33.492	22.621	3.111	23.610	28		
América Latina	5.590	3.784	420	4.143	30		
Europa	26.818	20.790	3.551	23.113	31		
Oriente Médio e África	12.891	3.376	403	5.646	25		
Ásia e Oceania	36.816	34.631	3.853	50.253	40		
Total	115.607	85.202	11.338	106.765	33		
% BTX do Total Global Produzido							
3,88							
Capacidade Instalada Latino Americana (2006)							
Petroquímicos	Argentina	Brasil	Chile	Colômbia	México	Venezuela	% Nacional
Benzeno	270	1.014	0	0	240	59	64
OS	72	630	0	98	550	45	45
Para-xileno	40	203	0	0	283	0	39
PET	245	394	0	40	945	0	24

Fonte: Elaboração própria com base em Quimax Handbook e SRI apud Parolin, 2008

Observa-se que em 2006 foram produzidos aproximadamente 107 mil toneladas de aromáticos no mundo, atrás apenas da produção de eteno.

A região da Ásia e Oceania se destaca e apresenta aproximadamente 40 % de produção de BTX quando comparado aos demais produtos (eteno, propeno, butadieno) em sua região. O bloco destaca-se ainda globalmente no setor petroquímico, não só por ser líder na produção de aromáticos, com 47 % da produção mundial, mas por manter essa liderança nos outros setores petroquímicos de primeira geração.

Embora a América Latina tenha fornecido apenas 3,88 % do total global de BTX em 2006, possui um percentual produtivo dentro da média das regiões para produção de BTX. Dentro desses blocos mundiais regionais, o BTX possui cerca de 30 % desse mercado de produtos primeira geração.

Vale ressaltar ainda, que o valor de 3,88 está na média de produção latinoamericano para os demais petroquímicos, tendo o eteno 4,48 , o propeno 4,44 e o butadieno 3,7 da porcentagem global dos seus respectivos setores. Percebe-se desse modo que a produção de BTX acompanha o crescimento do setor petroquímico de primeira geração na América Latina.

Analisando ainda capacidade instalada de para-xileno e PET, verifica-se que dentro do bloco latinoamericano o país perde apenas para o México, que possui ambos os valores superiores ao nacional.

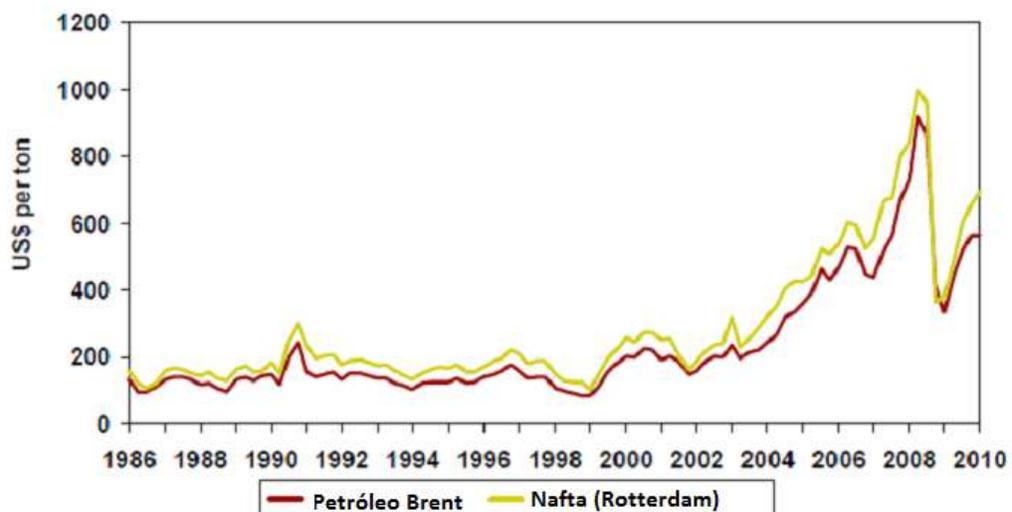
Infere-se que o para-xileno produzido no México é quase em sua totalidade utilizado para a produção de PTA neste país, este sendo exportado e consumido internamente. Considera-se assim que o México não apresenta grande potencial competitivo com unidades produtivas de para-xileno no Brasil.

4.2.2. Evolução de Preços

As referências mundiais de qualidade do óleo são o tipo Brent, negociado na bolsa Londres, e o WTI negociado em Nova York, por serem ambos os petróleos leves e servirem como base para calcular o preço do petróleo de diversas reservas. No presente trabalho utilizar-se-á como base o óleo Brent. É sabido no entanto que o petróleo Marlim possui cotação sempre menor por possuir características de óleo mais pesado.

Como não se tem fontes de tendência na nafta proveniente de Marlim, precisa-se calcular, de forma simplificada, o preço da nafta que será utilizado em nossos cálculos de custos.

Sabe-se que a evolução do preço da nafta acompanha de forma confiável a tendência de preços do petróleo bruto, como é caracterizado no gráfico abaixo (Figura 4.1).

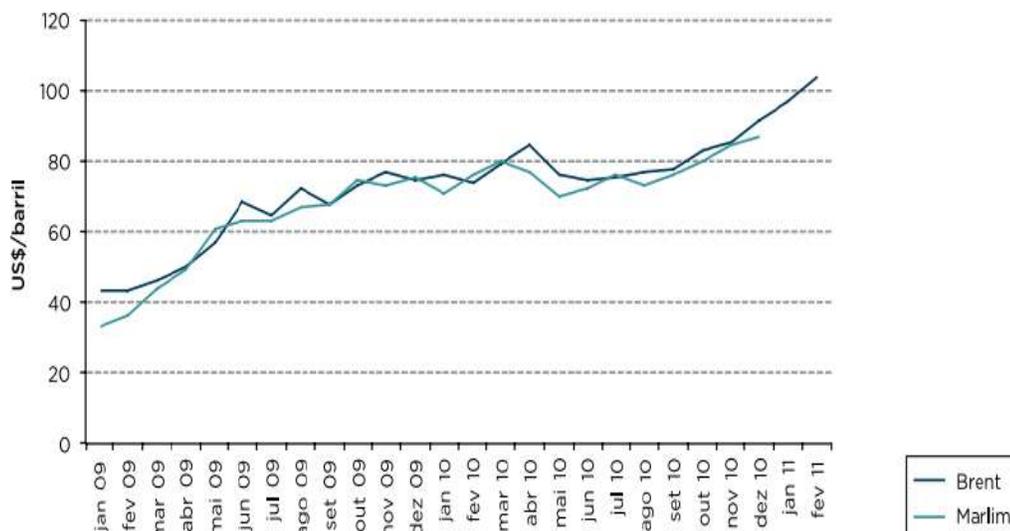


Fonte: CHEMSYSTEMS TRAINING,2012 (traduzido)
 Figura 4.1 - Tendências de Preço entre Petróleo e Nafta

Percebe-se que o óleo Brent possui tendência similiar a da nafta, definindo sempre valores menores de cotação, em dólares por tonelada. Podemos considerar essa mesma tendência para o petróleo Marlim.

A partir do gráfico percebe-se que para 2010 tivemos um valor de preço de nafta aproximadamente 1,21 acima que seu óleo de origem. Esse será o valor utilizado para fins de aproximação no presente trabalho.

A figura 4.2 demonstra a evolução comparativa entre os óleos, de onde será inferido um valor para que se chegue a um preço de óleo Marlim.



Fonte: ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2012
 Figura 4.2 - Evolução dos Preços de Marlim e Brent

A partir da observação do gráfico acima (Figura 4.2) infere-se que para fevereiro de 2011 houve uma razão de aproximadamente 1,086 entre os óleos.

De acordo com o site Financial Markets Worldwid, até a primeira quinzena de novembro 2012, a variação do petróleo Brent nas últimas 52 semanas foi de 88.50-128.39 dólares por Barril, tendo uma média de aproximadamente 107 dólares por barril em novembro.

Para os fins deste trabalho será considerado para 2012 uma média simples dos extremos alcançados, o que confere o valor de 108, 445 dólares por barril de petróleo Brent.

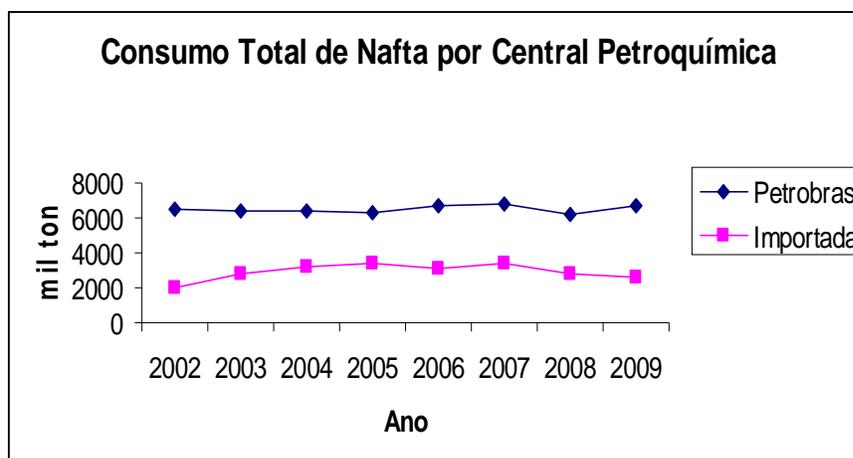
Tem-se assim um valor aproximado de 99,857 dólares por barril de petróleo Marlim, tendo sua nafta cotada a 120,827 dólares por barril, convertido a 885,66 dólares por tonelada.

4.2.3. Mercado – Importação e Exportação

A Figura 4.3 demonstra a liderança de fornecimento de matéria-prima petroquímica pela Petrobras nos últimos anos. Embora a importação para centrais petroquímicas tenha estado sempre presente no mercado, a Petrobras sempre apresentou uma lacuna de no mínimo 50 % a mais em relação às importações. Pode-se inferir a partir disso que não há chance de escassez de matéria-prima para a central

que estamos sugerindo neste trabalho, já que existe a possibilidade de importação, caso a Petrobras, RNEST, não possa fornecer por completo a alimentação do processo.

Sabe-se que o suprimento da RNEST será proveniente da Bacia de Campos e por conseguinte haverá processamento de petróleo Marlim na refinaria. O fornecimento da nafta petroquímica é ainda garantido pela certeza do processamento de aproximadamente 300 mil barris de Petróleo Marlim por ano na Refinaria Premium 1, no Maranhão, que se encontra em fase de projeto.



Fonte: PETROBRAS, 2010

Figura 4.3 - Fontes de Alimentação de Centrais Petroquímicas

4.3. Produtos

A análise comercial de para-xileno traz consigo a necessidade de considerações de mercado de benzeno, considerando esse como subproduto de produção, e ainda uma projeção de mercado de PTA e PET, já que estes impulsionam atualmente a produção do para-xileno.

4.3.1. Produção

Para o entendimento de cadeia de aromáticos, foi elaborada a tabela 4.3, que descreve as principais empresas petroquímicas brasileiras que atuam no mercado de BTX.

Tabela 4.3 - Dados de Petroquímicos Aromáticos no Brasil

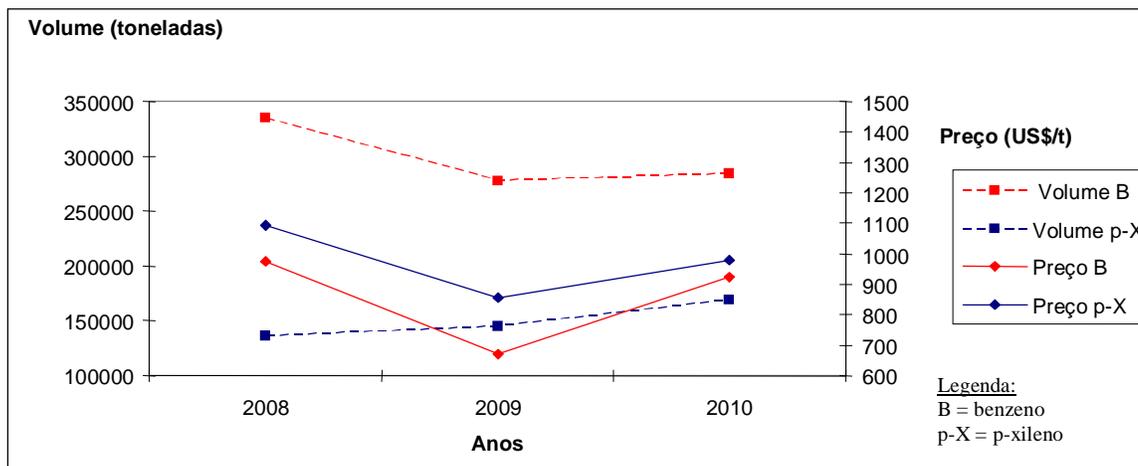
Empresa	Produto	Aplicação Principal (%)	Média Produção 2006- 2010 (t/ano)	CI - 2010	% Produção Total
Braskem	Xilenos Mistos	Solventes (89,3%)	116.166,7	169.000	7,96
Petrobras				22.000	
Quattor				*	
Braskem	Para-xileno	Intermediário Químico (100%)	141.888,86	203.000	9,72
Braskem	Orto-xileno	Intermediário Químico (100%)	90.818,76	126.000	6,22
Quattor				*	
Braskem	Tolueno	Intermediário Químico (73%) Solventes (27%)	199.763,44	195.000	13,68
CBE				**	
Petrobras				78.000	
Quattor				*	
Unigel				8.000	
Braskem	Benzeno	Intermediário Químico (73%) Solventes (27%)	911.426,5	969.000	62,42
Petrobras				30.076	
Quattor				*	

*Incorporada pela Braskem em fevereiro de 2011; ** Incorporada pela Unigel em fevereiro de 2010

Fonte: Elaboração própria com base em dados ABIQUIM, 2011

É nítida a liderança da Braskem em todos os setores analisados, e percebe-se que a capacidade instalada da unidade de para-xileno se encontra pouco significativa frente ao mercado próspero em nível global.

Com enfoque em aromáticos e dados da tabela 4.3, pode ser feita uma análise comparativa do produto de interesse e o principal subproduto de sua produção, conforme apresentado na figura 4.4.



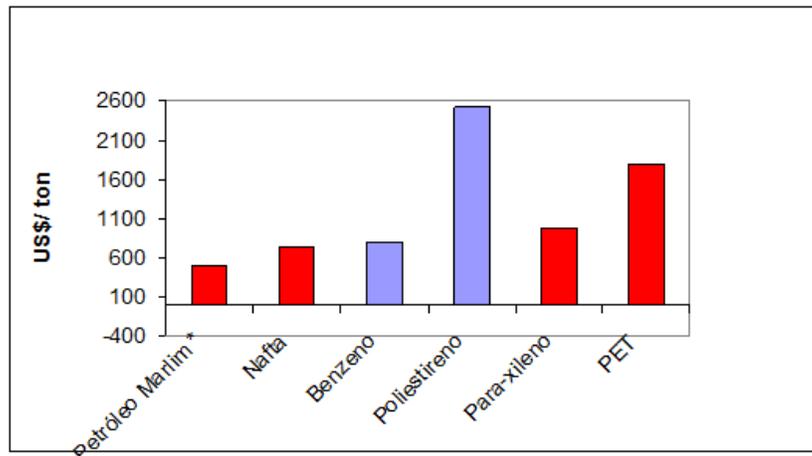
Fonte: Elaboração própria

Figura 4.4 - Comparação de Mercado dos Principais Produtos Aromáticos

Observa-se que com a crise de 2008, o volume de benzeno apresentou, juntamente com seu preço, uma queda significativa, e que pode ser observada também para outros petroquímicos no período. O para-xileno, no entanto, embora tenha tido uma queda no preço, esta se manteve menos significativa, e o volume de vendas não apresentou nenhuma queda, mantendo ascendência constante, o que indica grande potencial de mercado consumidor, com forte posicionamento mesmo em um período complexo como foi a crise econômica de 2008.

4.3.2. Evolução de Preços

Os preços da cadeia de PET podem ser analisados superficialmente de acordo com os valores da tabela 4.5. Verifica-se a ascendência constante até o produto petroquímico de segunda geração. A rentabilidade da venda de para-xileno no entanto só pode ser analisada com um estudo mais detalhado da situação atual, que dará origem a valores de custo de investimento e produção, o que será feito no capítulo 5.



* Valor Calculado descontado US\$10/bbl

Fonte: Apresentação de treinamento realizada por Andrea Pinho – Petrobras, 2010

Figura 4.5 - Preços Internacionais para Cadeia de Aromáticos

4.4. Análise de Mercado

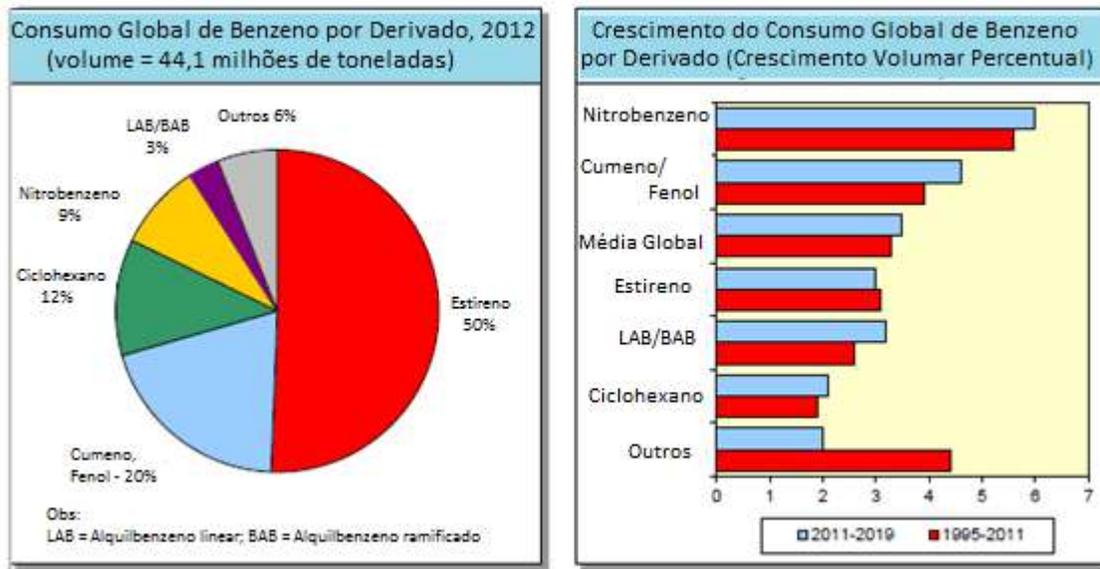
4.4.1. Benzeno

O mercado de benzeno é o maior e mais diversificado dentre os aromáticos, precursor de materiais tais como o estireno, cumeno, ciclo-hexano, o nitrobenzeno, e alquil linear benzeno (LAB).

O estireno define cerca de metade da demanda de benzeno global total, e é por si só o início de uma cadeia petroquímica, incluindo commodities e de engenharia de polímeros e borrachas sintéticas. Cerca de 60 por cento de estireno é consumido em poliestireno e poliestireno expansível, que são polímeros com uma ampla gama de utilizações que vão desde embalagens descartáveis para habitação a aparelhos elétricos.

O mercado de Cumeno, o segundo maior derivado do benzeno, é responsável por cerca de um quinto do consumo de benzeno total. Há ainda o mercado de ciclohexano, que responde por cerca de 12 por cento do consumo de benzeno, o mercado de nitrobenzeno, que consome nove por cento de benzeno do mundo, entre outras utilizações.

A Figura 4.6 fornece a projeção do consumo de benzeno por derivado.



Fonte: CHEMSYSTEMS TRAINING,2012 (traduzido)

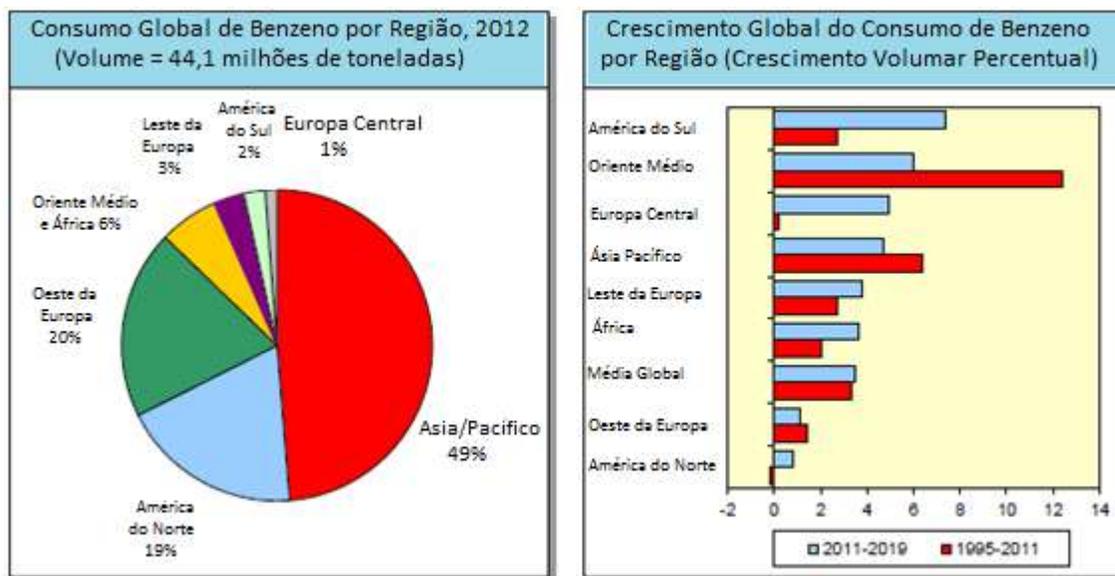
Figura 4.6 - Projeção do Consumo Mundial de Benzeno por Derivado

O consumo de benzeno global deverá crescer a uma taxa média anual de 3,5 por cento até 2019, impulsionada pelo crescimento, principalmente, da demanda por nitrobenzeno e cumeno / fenol. Este crescimento é próximo ao crescimento esperado para o PIB mundial (BP, 2011).

Os dados implicam a abertura para oferta do excedente de benzeno produzido na produção de para-xileno.

Embora tenha a menor porcentagem em consumo de benzeno por região, a América do Sul é a região que apresenta melhor projeção de crescimento para tal.

Na figura 4.7 são apresentadas as projeções de consumo em blocos regionais.



Fonte: CHEMSYSTEMS TRAINING,2012 (traduzido)

Figura 4.7 - Projeção do Consumo Regional de Benzeno por Derivado

O Brasil domina a produção de benzeno da América Latina, com 64% da capacidade instalada, como mostrado na tabela 4.2, Consolidando esse fato com os dados acima, é garantida a proposta de escoamento do benzeno produzido para exportação, tendo em vista que já existe esse mercado, principalmente na América do Sul e Norte.

Podemos considerar que o benzeno poderá atender em parte ao crescimento do mercado doméstico e em parte atender ao mercado da América do Sul.

4.4.2. Tolueno

A principal utilização química do Tolueno é na produção de diisocianato de tolueno (TDI) no uso como intermediário na produção de poliuretanos. O tolueno é proveniente principalmente da reforma catalítica, gasolina de pirólise e coque de petróleo leve do forno (COLO).

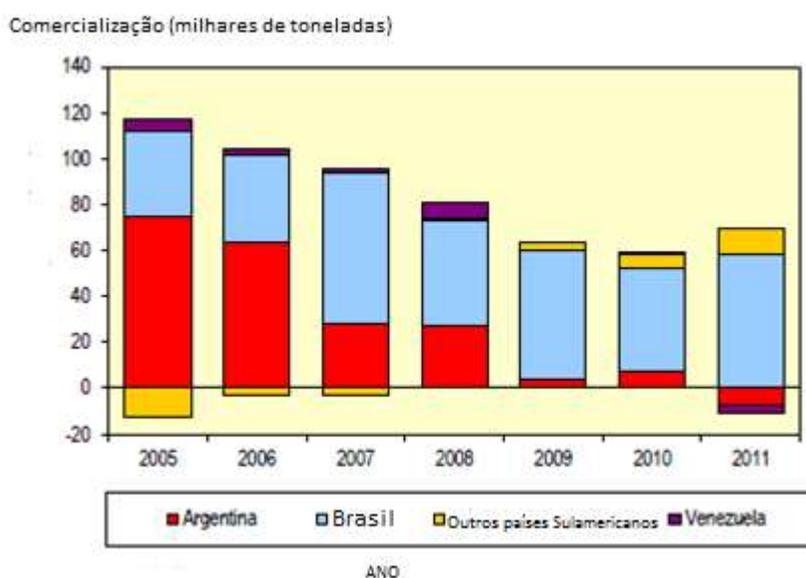
A demanda de tolueno na mistura de gasolina aumentou em níveis elevados em 2006-7 devido aos altos preços de gasolina globais e a necessidade de refinadores nos Estados Unidos para substituir o éter metil-terc-butílico (MTBE). Recentemente, apesar do fraco mercado de gasolina, o grande superávit na oferta global de benzeno em 2011 criou pouco incentivo para extrair tolueno para a produção de benzeno.

Quanto à utilização em processos químicos, a demanda em xilenos mistos e para-xileno via desproporcionamento do tolueno (TDP) e processos de transalquilação são os maiores consumidores de tolueno. Um pequeno volume de tolueno é consumido na fabricação de TDI.

O crescimento do consumo moderado é esperado para o tolueno em usos químicos. Futuras plantas aromáticas irão produzir volumes muito maiores de tolueno do que será necessário para as aplicações da indústria química, e o futuro da produção de tolueno, portanto, deverá ser para a inter-conversão de processos para a produção de para-xileno.

Quase todo o tolueno, na maioria dos novos complexos, é consumido no interior do circuito de aromáticos por meio de uma combinação de transalquilação e desproporcionamento, e é, assim, transformado em xilenos e benzeno, antes de sair do fábrica de aromáticos. Assumiremos então, a maximização dessa hipótese, com exportação do tolueno eventual que não poder ser convertido.

A figura 4.8 apresenta histórico comercial atual de tolueno na América do sul.



Fonte: CHEMSYSTEMS TRAINING,2012

Figura 4.8 - Comércio Líquido de Tolueno na América do Sul

Devido à demanda limitada, a América do Sul é um exportador líquido de tolueno, principalmente destinado a América do Norte. Dentro da região, o Brasil tem sido o único grande exportador, enquanto as exportações da Argentina diminuíram de 2009, após a redução da produção de tolueno e xileno a partir de reformadores. O gráfico acima indica assim essa balança favorável brasileira crescente nos últimos anos.

Poderíamos considerar, portanto, um escoamento da produção de tolueno se necessário. No entanto, pela tecnologia considerada no complexo aromático, garante-se a conversão total do tolueno dentro do processo. As considerações sobre o tolueno se apresenta considerado enfatizando a solidez do

mercado de aromáticos, sendo irrelevante o estudo de mercado de xilenos mistos e a utilização dos dados aqui apresentados para cálculos posteriores de viabilidade.

4.4.3. PTA e PET

A demanda de para-xileno atende ao mercado de PTA que por sua vez é direcionado principalmente pelo mercado de PET.

O consumo de PET no mundo é estimado em 18 milhões de toneladas, após um crescimento de quase 8% em 2011. O PET é um dos polímeros de maior volume no mundo e a partir disso explica-se em parte o fato da procura global de para-xileno ser muito superior a demanda de orto-xileno e meta-xileno.

No passado, o Brasil chegou a ser pequeno produtor de PTA. A Rhodia tinha uma unidade de PET em Poços de Caldas (MG), que foi adquirida (e desativada) pela Mossi & Ghisolfi em 2007. Essa unidade, quando da Rhodia, era abastecida de PTA fabricado pela Rhodiaco (Rhodia e Amoco) em Paulínia (SP), cuja capacidade era de 250 mil toneladas ao ano.

Na atualidade todo o ácido tereftálico consumido na produção de PET no Brasil é importado. A M&G é a única produtora de resina PET no país. A multinacional importa todo o PTA, sobretudo do México, para viabilizar a produção em Pernambuco, sendo a maior produtora global de resina PET. A fábrica da companhia italiana tem capacidade para 550 mil toneladas de PET e a da Petrobras, quando estiver em operação, está projetada para 450 mil toneladas ao ano.

A previsão da Associação Brasileira da Indústria do PET (Abipet) é de que a capacidade de produção dessa resina alcance 1 milhão de toneladas em 2014, considerando os dois complexos industriais em operação (Mossi & Ghisolfi e Petrobras).

A tabela 4.4 mostra a tendência do comércio de importação e exportação de PTA nos últimos anos.

Tabela 4.4 - Dados de Produção do Ácido Tereftálico no Brasil

Empresa	Localização	CI 2010 (t/ano)	Projeção CI (t/ano)	
Petroquímica SUAPE	PE	-	700.000	
Tereftálicos (1)	SP	250.000	-	
Ano	Importação		Exportação	
	Volume (t)	US\$ 1000 FOB	Volume	US\$ 1000 FOB
2006	31.160	29.743,9	15	31,1
2007	347.057	337.854,1	24	46,1
2008	405.023,9	436.094,3	0	0

2009	408.754,8	340.739,2	0	0
2010	502.319,4	4.469.510	0	0

(1) Unidade paralizada temporariamente a partir de agosto de 2007

Fonte: Elaboração própria com base em dados ABIQUIM, 2011

É nítido um aumento crescente das importações ao longo dos anos, acentuada em 2007 pela desativação da unidade brasileira e com aumento de aproximadamente 25% depois do ápice da última crise econômica, de 2009 para 2010.

Em 2010, os gastos com importação de PTA totalizaram US\$ 446,9 milhões, com 502,3 mil toneladas do insumo importada, de acordo com levantamento da consultoria Petroquímica Maxiquim.

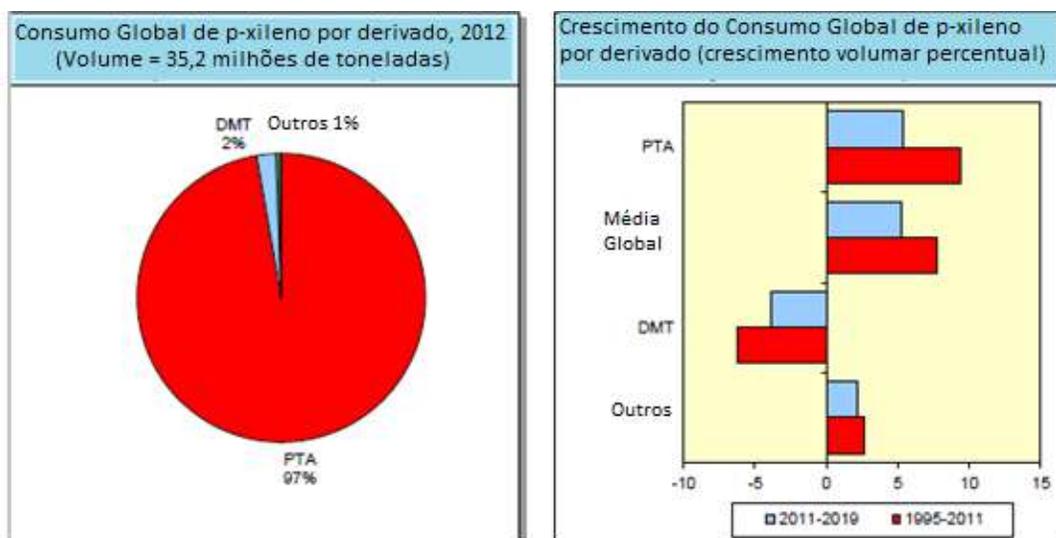
A produção de PTA da Petrobras na SUAPE terá capacidade para 700 mil toneladas ao ano. A estatal destinará cerca de 400 mil toneladas para a produção de PET, quando estiver operando a plena carga, e outras 200 mil toneladas para os fios de poliéster.

A expectativa é de que a estatal exporte resina PET nos primeiros anos de operação, uma vez que a Mossi & Ghisolfi (M&G) atende praticamente toda demanda nacional.

Vale ressaltar que até 2017, o grupo italiano se beneficia da importação de PTA com altos benefícios tarifários, o que gerou discórdia com a Petrobras, indício de que uma cadeia produtiva totalmente integrada daria mais segurança a produção do país.

4.4.4. Para-Xileno

Dados de consumo global são apresentados na figura 4.9.



Fonte: CHEMSYSTEMS TRAINING, 2012

Figura 4.9 - Projeção de Consumo Global de Para-xileno por Derivado

O consumo global de para-xileno foi de cerca de 33,0 milhões de toneladas em 2011, atingindo 35,2 milhões de toneladas em 2012.

O consumo global de para-xileno tem previsão de crescer a uma taxa média de crescimento anual de 5,2 por cento até 2019. O consumo de para-xileno na produção de ácido tereftálico purificado aumentou (em comparação com 86 por cento em 2000) devido ao fim da demanda e da contínua substituição de tereftalato de dimetila (DMT).

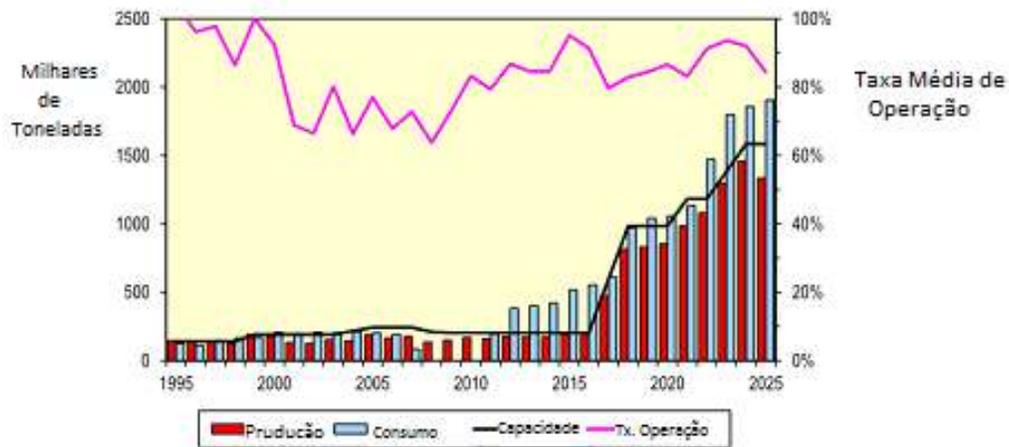
A capacidade de para-xileno na América do Sul é pequena, representando menos de um por cento da capacidade global.

Uma unidade de para-xileno pequena na Argentina, operada pela Repsol YPF está inativa desde 2008 e é considerado improvável que reinicie. Apesar de integração para a refinaria no site, a escala era muito pequena, e todo para-xileno produzido tinha de ser exportados devido à falta de demanda interna.

Pequiven começou o estudo de um complexo petroquímico importante em Paraguana, Venezuela. O projeto de plano inclui um cracker de escala mundial e complexo aromático, com capacidade para produzir 779 000 toneladas por ano de benzeno e 692 000 toneladas por ano de para-xileno. O custo total do projeto foi estimado em US \$ 11 bilhões. No entanto, como recentemente a Venezuela planejou uma série de empreendimentos petroquímicos que não se concretizaram, será desconsiderada a implantação deste projeto em nossas análises.

A venda de para-xileno na América do Sul a curto prazo será centrada no Brasil, devido à crescente demanda local de PTA, em conjunto com um plano agressivo para desenvolver um complexo petroquímico em escala mundial.

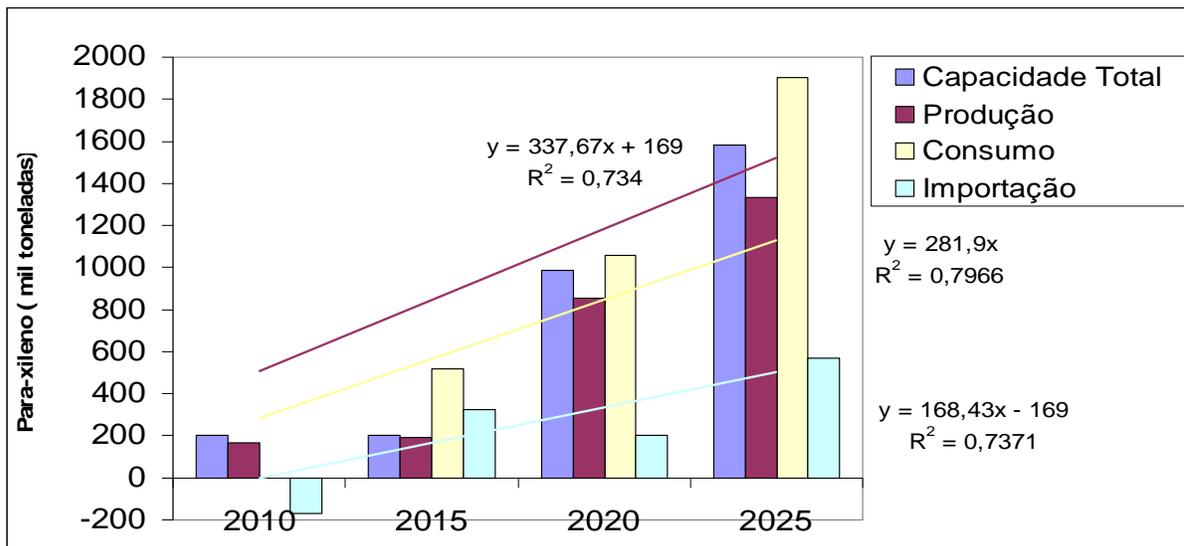
O gráfico abaixo desenvolve o histórico de mercado de para-xileno dos últimos 17 anos na região e demonstra ainda a projeção esperada para os próximos 13 anos.



Fonte: CHEMSYSTEMS TRAINING,2012
 Figura 4.10 - Histórico de Mercado de Para-xileno

Antes de 2007, a América do Sul ficou bastante próxima do equilíbrio, com um pequeno déficit atendido por importações dos Estados Unidos. A posição do comércio mudou em 2007, após as plantas de PTA e DMT serem desligadas no Brasil. O excedente de para-xileno foi enviado para o México e os Estados Unidos.

Na figura 4.11 são apresentados dados de mercado de forma que se possa comparar claramente o cenário atual e a projeção esperada para esse produto na América do Sul.



Fonte: Elaboração Própria com base em Apresentação da Chemsystems
 Figura 4.11 - Projeção de Comércio de Para-Xileno na América do Sul

A partir da observação de linhas de tendência básicas pode-se inferir matematicamente que o consumo e produção apresentarão angularidades muito similares de crescimento, sendo as quantidades

de consumo um pouco maiores, o que suporta a teoria, mesmo que superficialmente, de necessidade crescente de importação de para-xileno

A importação possui um crescimento acentuado de 2010 até a projeção de 2025, tendo seu ápice no ano final de análise onde se observa necessidade de aproximadamente 570 mil toneladas de para-xileno na região.

A tabela 4.5 localiza a produção nacional de para-xileno, e mostra os valores anuais já citados.

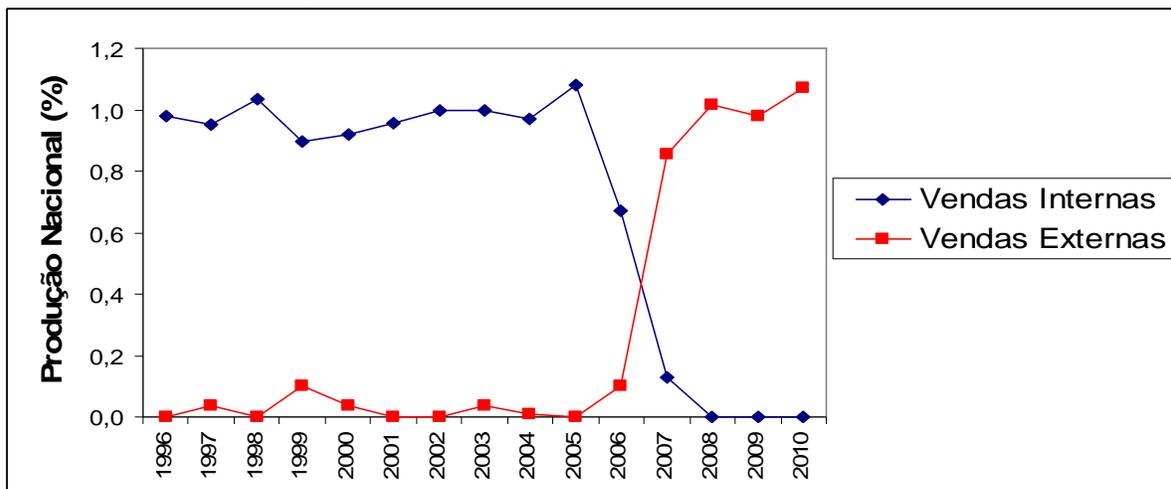
Tabela 4.5 - Dados de Produção de Para-Xileno no Brasil

Empresa	Localização		CI 2010 (t/ano)	Projeção CI (t/ano)
Braskem	PE		-	700000
Ano	Importação		Exportação	
	Volume (t)	US\$ 1000 FOB	Volume	US\$ 1000 FOB
2006	87.534,1	99.105,1	38.570,2	39.896,4
2007	52.436,4	54.487,1	116.426,6	122.633,4
2008	0	1,6	136.341,3	148.942
2009	0,9	4,2	145.221,2	124.666,4
2010	0	4,3	169.265,6	165.716

Fonte: Elaboração própria com base em dados ABIQUIM, 2011

A antiga COPENE teve capacidade instalada de 230 mil toneladas de para-xileno anuais. Quando a empresa foi incorporada pela Braskem em 2002 essa capacidade se manteve, tendo seu valor alterado para 150 mil toneladas anuais em 2003 e 203 mil toneladas anuais de capacidade instalada de 2004 até o presente ano. O figura 4.12 indica o histórico de vendas de para-xileno no mercado interno e externo.

Figura 4.12 – Histórico de Vendas de Para-xileno

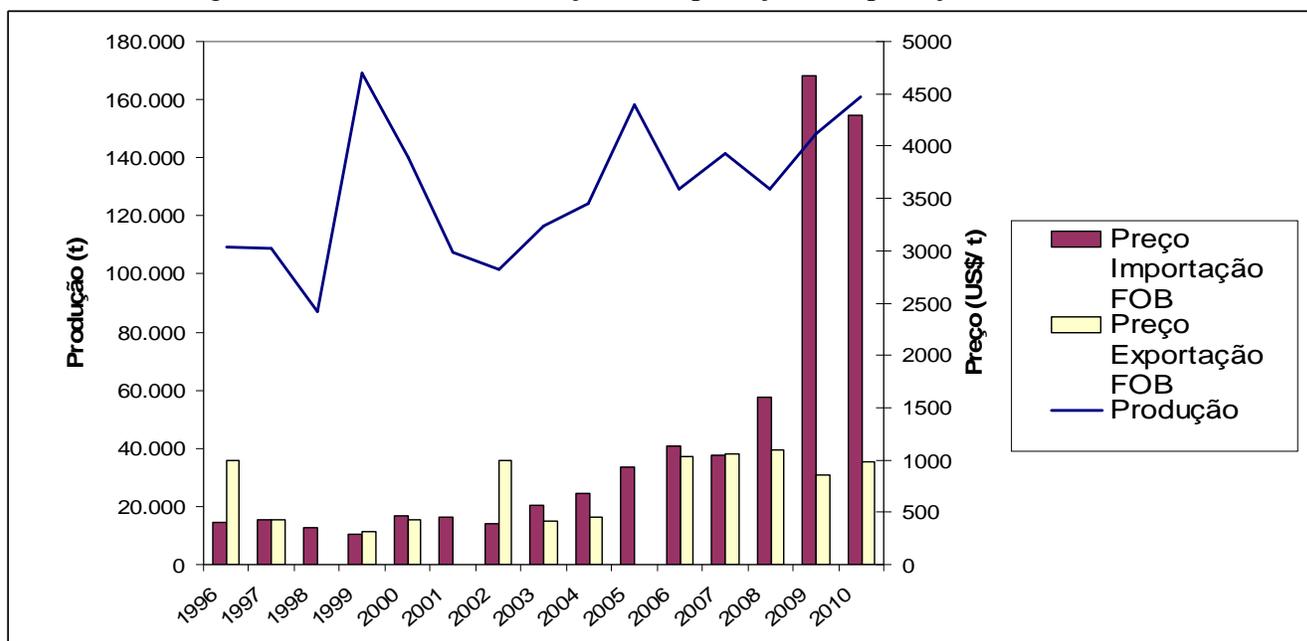


Fonte: Elaboração própria com base em dados de Histórico da ABIQUIM, 2001 - 2011

Embora para-xileno seja produzido no Brasil, não há hoje escoamento de produção interna, visto que não existe na atualidade nenhum produtor de PTA. Percebe-se nitidamente a mudança de tendência ocorrida no ano de 2007 quando compara-se as porcentagens de vendas da produção anual relacionadas ao mercado interno e externo.

Esse panorama irá mudar com o “start” da nova unidade de PTA na Suape e o país precisará importar para-xileno para atender o crescimento de mercado impulsionado pela produção de PET, que aumentará significativamente. Na figura 4.12 é apresentado o histórico de preços de mercado da produção interna.

Figura 4.12 – Histórico de Preços de Importação e Exportação



Fonte: Elaboração própria com base em dados de Histórico da ABIQUIM, 2001 - 2011

A partir de 2003 já é observada uma tendência do crescimento contínuo de preço FOB para as importações, sendo esses valores extremamente acentuados durante a última crise econômica mundial.

Com o projeto da Petrobras para produção de 700 mil toneladas anuais de ácido tereftálico na SUAPE, a demanda de para-xileno requerida é de aproximadamente de 570 mil toneladas, o que significa uma quantidade 2,8 superior a atual capacidade da Braskem.

O projeto do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj), que não está previsto para iniciar antes de 2017, e se apresenta hoje como uma refinaria de combustíveis, inclui um cracker de nafta e complexo de extração de aromáticos. Em termos de escala, o escopo para a produção de compostos aromáticos foi reduzida para produzir 480 000 toneladas por ano de para-xileno e 355 000 toneladas por ano de benzeno, que é quase metade do que foi anunciado anteriormente.

Se for considerada a partida do Comperj, o Brasil teria uma capacidade de produção de 683 mil toneladas por ano com utilização de capacidade total das unidades, produzindo aproximadamente 20 % a mais do necessário para atender o mercado de PTA.

No entanto, uma nova unidade de produção de para-xileno seria ideal para manter a estabilidade a longo prazo, visto que é esperado um consumo de quase 2000 mil toneladas para 2025. Mesmo com a realização do projeto da Venezuela citado anteriormente, que não será levado em consideração, a América do Sul ainda estaria dependente de exportações de outras regiões produtoras.

Um complexo aromático produtor de para-xileno dá ao Brasil a total auto-suficiência para produção de PET nos próximos anos. O objetivo do presente trabalho é garantir a alimentação da planta de ácido tereftálico da SUAPE, cuja produção totalmente direcionada a essa questão, principalmente por fins de logística. A Braskem continuaria exportando, assim como o Comperj quando iniciada a produção, atendendo ao consumo já existente na América do Sul, salientado em todo o capítulo.

CAPÍTULO 5

Balanço de Produção, Viabilidade e Investimentos

5.1. Apresentação

Assumindo o foco do trabalho, uma unidade de recuperação de para-xileno que atenda o mercado da SUAPE, tendo em vista todas as questões de mercado já citados, chegamos aos seguintes valores para atualidade/projeção na tabela abaixo.

Tabela 5.1 - Tabela Comparativa de Demanda na SUAPE da Cadeia de PET

Produção de Para-xileno (t/ano)		Produção de PTA (t/ano)		Produção de PET (t/ano)	
Atual	Projeção	Atual	Projeção	Atual	Projeção
203.000	570.000	0	700.000	550.000	1.000.000

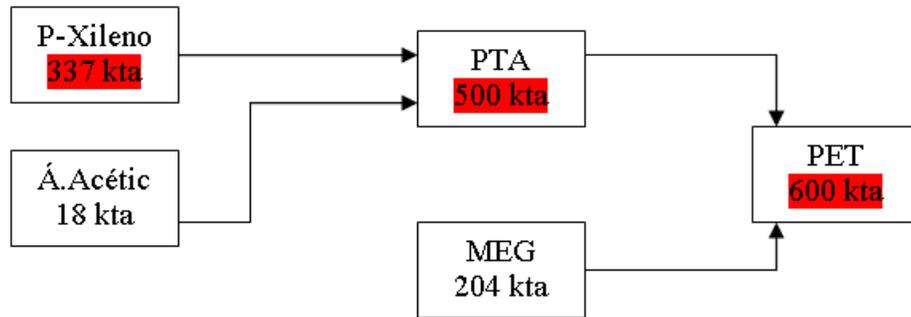
Fonte: Elaboração própria com bases citadas

5.2. Cadeia de PET

Sabe-se que a Petroquímica Suape possuirá capacidade instalada para produção de 450 mil toneladas de PET. A partir dos dados de ácido tereftálico, também produzido na SUAPE, com capacidade anual de 700 mil toneladas, capacidades instaladas e produção nacional, chegaremos a demanda necessária de extrato aromático da unidade de reforma catalítica que seria implementada, como sugerido no objetivo principal deste trabalho.

Analisaremos então nesta seção parâmetros da nafta reformada que segue para processos de separação e purificação dos compostos aromáticos, visando a maximização de para-xileno com alta pureza, considerando a comercialização direta de benzeno e possivelmente tolueno como produtos finais.

Para isso é necessário entender o balanço mássico simplificado da cadeia do PET. Na figura abaixo é mostrado esquematicamente o balanço de massa que será utilizado.



Fonte: Elaboração própria com base em dados da PETROBRAS
 Figura 5.1 - Dados de Balanço Mássico da Cadeia de PET em Toneladas/Ano

A partir dos dados apresentados, por balanço numérico simples, regra de três, chegamos aos seguintes valores para uma produção de 700 mil toneladas anuais de PTA na SUAPE:

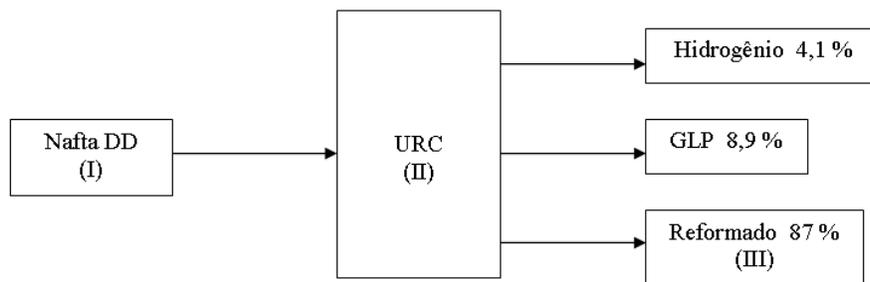
Tabela 5.2 - Demanda de Para-xileno na SUAPE

Estimativa de Produção (t/a)	
PTA	P-xileno
700.000	471.800

Fonte: Elaboração própria

Para entender e se chegar ao balanço necessário para definir a carga de alimentação, devemos entender o modelo de funcionamento simples de uma unidade de reforma catalítica.

Para nossos fins, consideraremos a nafta DD como carga típica e desconsideraremos a produção de gás combustível com o balanço mostrado abaixo:



Fonte: Elaboração própria com base no HANDBOOK OF PETROLEUM REFINING PROCESSES, 2004
 Figura 5.2 - Esquema Simplificado do Balanço Mássico da Reforma Catalítica

As rotas tecnológicas para reforma catalítica definem 2 tipos de processo: semirregenerativo (SR) e cíclico com regeneração contínua do catalisador (CCR).

O processo contínuo é o mais utilizado nas unidades instaladas na atualidade, não há conhecimento de construção de novas plantas de SR. Por esse motivo e pelo fato de ser possível a utilização de condições operacionais mais severas e a maior atividade do sistema catalítico, permitindo assim um maior rendimento do reformado, serão considerados os parâmetros de variáveis do CCR neste trabalho. A comparação entre os dois processos é mostrado no quadro abaixo.

Tabela 5.3 - Comparação entre Tecnologias de Reforma Catalítica

Parâmetro	SR	CCR
Fator de utilização da unidade, d/a	330	360
Pressão, KPa	1.380	345
Produção de gás rico em hidrogênio, m ³ /d	36	48
Rendimento de reformado, % em massa	85,3	91,6
RON	100	100

Fonte: HANDBOOK OF PETROLEUM REFINING PROCESSES, 2004

Em termos de disponibilidade em uma refinaria, a reforma catalítica contínua (CCR), embora apresente uma eficiência e retorno muito maiores que os da semirregenerativa, apresenta necessidades maiores da maioria das utilidades.

Podemos citar um aumento de aproximadamente 25 vezes no consumo de energia elétrica, 82% a mais no consumo de água de resfriamento, 50% a mais de vapor de alta pressão, e 26% a mais de consumo de combustíveis.

Embora apresente apenas cerca de 9,5% a mais de produção de reformado, o RONC se define cerca de 5 pontos acima do de um SR, mantendo uma média de aproximadamente 102. O gás combustível tem sua produção diminuída em cerca de 64% e os outros subprodutos apresentam alta em relação ao SR, destacando as produções de hidrogênio e GLP muito maiores, 58% e 59% respectivamente.

O complexo é integralmente licenciado pela UOP, licenciadora escolhida neste trabalho de acordo com o custo, tecnologia e outros parâmetro já citados na seção anterior.

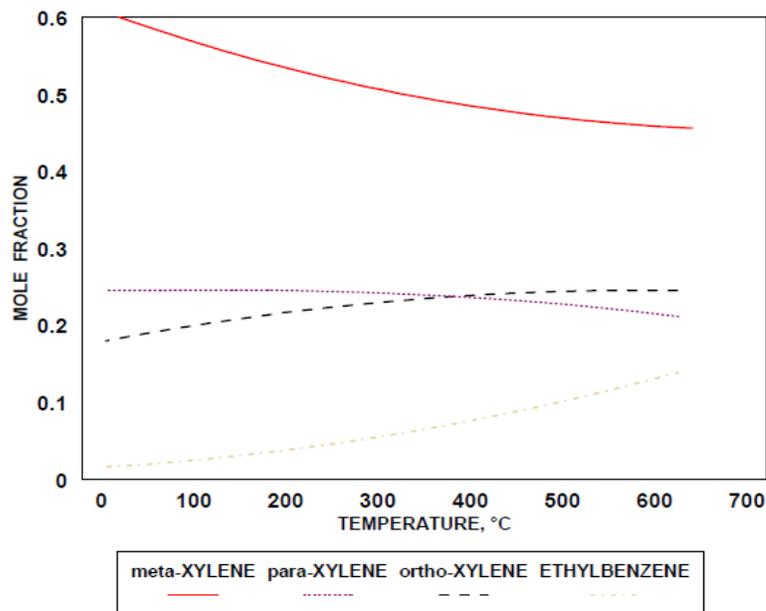
A partir do esquema de complexo de aromáticos apresentado na figura 3.3, temos as unidades necessárias para a recuperação de para-xileno de forma simplificada.

5.3. Balanço Material

Para analisar o rendimento dos produtos de uma unidade de reforma catalítica, deve-se ter sempre em mente que para diferentes cargas e condições de operação sempre se terá diferentes valores, embora exista uma faixa aceitável para esses valores.

Consideramos, dentro dos petróleos apresentados na tabela 2.3, a utilização do petróleo Marlim como origem da nafta DD, que servirá de carga da reforma no presente trabalho. A base usada para efeito de comparação foi retirada do Handbook of Petroleum Refining Processes, onde o petróleo cru utilizado seria o Árabe Leve.

Considerando ainda uma faixa de temperatura de unidade de reforma catalítica de 524 a 540 graus Celsius, pela média simples, temos pelo gráfico abaixo as porcentagens de isômeros aromáticos nos xilenos apresentada na tabela posterior 6.15.



Fonte : Chemsystems Training

Figura 5.3 – Frações Molares dos Isômeros em Função da Temperatura de Operação

A tabela a seguir compara diferentes tipos de petróleo como carga de reforma catalítica e a produção de derivados.

Tabela 5.4 - Comparação entre Petróleos

% (Volume)	Carga URC		Petróleo Marlim		Árabe Leve		
	Parafínicos		41,88%		66%		
	Naftênicos		49,15%		23%		
	Aromáticos		8,98%		11%		
	Produtos URC -						
	Aromáticos	Benzeno	8,50%	Xilenos	26,10%	Orto-xileno	25%
		Tolueno	26,30%			Meta-xileno	43%
		Outros	13,40%			Para-xileno	22%
	Refinado		12,70%			Etilbenzeno	10%
	Hidrogênio		4,10%				
GLP		8,90%					

Fonte: Elaboração Própria com base em ARAÚJO et al., 2012

Observa-se uma porcentagem naftênica bastante inferior do petróleo Árabe. Pode-se facilmente inferir neste caso que os resultados na porcentagem de reformado proveniente do petróleo Marlim serão no mínimo iguais aos apresentados na tabela de produtos.

A partir dessa suposição, chega-se a esquemática de valores de recuperação para que sejam definidas as vazões necessárias para toda a cadeia de produção do nosso produto de interesse, o para-xileno.

Na tabela abaixo é apresentada uma carga típica de reforma com objetivo petroquímico e seus produtos.

Tabela 5.5 - Caracterização Típica da Carga para URC Petroquímica

Carga		Produtos	%
Faixa de Destilação	80 - 150	Hidrogênio	4,1
Hidrocarbonetos Parafínicos, %	57	Reformado	87
Hidrocarbonetos Naftênicos, %	37	Aromáticos no Reformado	
Hidrocarbonetos Aromáticos, %	6	Benzeno	8,5
		Tolueno	26,3
		Xilenos	26,1
		Total de Aromáticos	74,3

Fonte: ARAÚJO et al., 2012

Deseja-se uma produção de aproximadamente 471.800 t/a de para-xileno por ano, ou seja, considerando unidade contínua, trabalhando 330 dias por ano, 24 horas, a uma vazão de 1429,7 t/d ou 59,6 t/h de para-xileno.

Como mencionado, para o cálculo das principais vazões envolvidas no processo, reforma catalítica junto ao complexo de aromáticos, usou-se como referência dados estimados encontrados no Handbook of Petroleum. A tabela abaixo apresenta o balanço material base e aquele obtido pela manipulação, regra de três simples, para que o processo tivesse como corrente final de para-xileno a demanda previamente calculada.

Tabela 5.6 - Vazões Calculadas para o Complexo de Aromáticos

Balanço Material Total (t/a)		
Substância	Base	Objetivo
Nafta	940.000	1.108.730
Produtos		
Benzeno	164.000	193.438
P-xileno	400.000	471.800
C10 ⁺ Aromáticos	50.000	58.975
Rafinado Sulfolane	140.000	165.130
Gás Rico em H ₂	82.000	96.719
GLP	68.000	80.206
Leves	36.000	42.462

Fonte: Elaboração própria com base no HANDBOOK OF PETROLEUM REFINING PROCESSES, 2004

Assim como as vazões, os custos fixos e o consumo de utilidades na implementação de uma unidade de reforma catalítica integrada a um complexo de aromáticos podem ser estimados considerando o estudo encontrado no Handbook of Petroleum.

Primeiramente, obtém-se os valores referentes ao consumo de utilidades. Os cálculos são semelhantes a todos os anteriormente realizados até a presente seção, regra de três simples comparando os dados encontrados no handbook e os valores desejados. Esses cálculos são definidos na tabela a seguir.

Tabela 5.7 - Consumo de Utilidades por Hora

Para-xileno	Base	Objetivo
	400.000	471.800
Consumo de Utilidades		
Água de Resfriamento (m ³ /h)	1.630	1.922,6
Combustível (MBTU/h)	821	968,4
Energia Elétrica (kW/h)	12.000	14.154
Vapor de Alta Pressão (t/h)	63	74,3

Vapor de Média Pressão (t/h)	76	89,6
------------------------------	----	-------------

Fonte: Elaboração própria com base no HANDBOOK OF PETROLEUM REFINING PROCESSES, 2004

O consumo das utilidades está descrito por hora, como nosso estudo envolve a produção anual de p-xileno, é necessário converter o consumo de utilidades por ano. A tabela 5.8 organiza esses dados de conversão.

Tabela 5.8 - Consumo de Utilidades por Ano

Consumo de Utilidades	
Água de Resfriamento (m ³ /a)	15.226.873,20
Combustível (MBTU/a)	7.669.486,44
Energia Elétrica (kW/a)	112.099.680,00
Vapor de Alta Pressão (t/a)	588.523,32
Vapor de Média Pressão (t/a)	709.964,64

Fonte : Elaboração Própria de Cálculos

A partir dos dados já calculados podemos estimar um cálculo de custo global do complexo de aromáticos, considerando os investimentos necessários e os custos fixos e variáveis para a produção de para-xileno desejada.

O complexo que será utilizado como base possui a flexibilidade de produção de 21.000 a 1.200.000 toneladas ao ano de para-xileno, faixa que engloba a quantidade calculada no nosso estudo, 471.800 toneladas ao ano.

5.4. Investimentos e Viabilidade

5.4.1. Investimentos Fixos

A análise do investimento financeiro necessário para a implementação do complexo aromático depende de alguns estudos do fluxo de caixa gerado.

O projeto de investimento analisado neste trabalho corresponde à implementação de uma planta petroquímica, mais precisamente de uma planta de produção de para-xileno.

A linha de produção prevista tem a capacidade de processar 471.800 mil toneladas por ano, valor líquido, já considerando as perdas e paradas.

O investimento inicial será dividido em ISBL (inside battery limit) e OSBL (outside battery limit). Dentro do ISBL incluem-se todas as necessidades planta de processamento químico para produzir

o produto, os equipamentos (torres, reatores, bombas, etc), materiais (estrutura de aço, concreto, instrumentação, etc.), construção e mão de obra, engenharia de detalhamento, engenharia básica e royalty, supervisão de construção e fator do contratante. O OSBL inclui as utilidades, estocagem, edifícios e infra-estrutura necessária para prover a unidade de processamento químico com serviços e estocagem necessária para produzir e distribuir o produto.

O investimento ISBL encontrado na literatura foi de US\$ 235 milhões para o ano de 1995, sendo o OSBL considerado como 40% do valor do ISBL.

O valor ISBL deverá ser corrigido tanto para o fator de escala, já que a base de cálculo utilizada foi para uma planta que produz 400.000 mil t/a de para-xileno, quanto para o tempo, já que o valor dado do investimento foi para o ano de 1995.

A correção do investimento para a capacidade instalada é feita através da seguinte fórmula:

$$ISBL_{\text{objetivo}} = ISBL_{\text{base}} * (C_{\text{objetivo}}/C_{\text{base}})^n$$

Onde:

C_{objetivo} – Capacidade Instalada da Planta Objetivo

C_{base} – Capacidade Instalada da Planta Base

n – fator de correção em relação a escala

A correção do valor para o ano de 2012 é feita adotando como referência o Chemical Engineering Plant Cost Index. Assim, utilizando 3% no período de 1995-2000 e 50% no período de 2000-2012 temos os investimentos estimados na tabela abaixo.

Tabela 5.9 – Investimento Fixo

Investimento Fixo (US\$)	
Investimento ISBL	409.184.269,12
Investimento OSBL	163.673.707,65
Total	US\$ 572.857.976,77

Fonte: Elaboração própria

Os custos referentes aos gastos com a compra da área a ser construída, terreno e terraplanagem não serão levados em consideração, partindo do princípio que será utilizada a área de uma refinaria já em operação.

Considera-se o cálculo da Partida da planta, em torno de 10% do investimento fixo.

Serão apresentados no seguimento desse trabalho os cálculos dos custos fixos e variáveis, que se somados representam o custo de operação.

Estes valores são necessários ao cálculo do capital de giro que é composto pelo gasto com os seguintes itens: necessidades mínimas de caixa (pagamento de matérias-primas, energia, encargos,...); estoques (matérias-primas, produtos em elaboração, produtos acabados, peças e componentes), financiamento das vendas (crédito dado aos compradores) e financiamento das compras (crédito recebido dos fornecedores).

O somatório do investimento fixo com custo de partida da planta, licenciamento de tecnologia e o capital de giro corresponde ao investimento total calculado.

5.4.2. Custos Fixos

Os custos fixos são aqueles que não variam com o nível de produção da unidade de processo. Esses custos englobam a demanda de mão de obra indireta e os custos fixos de operação, ambos descritos nas tabelas 5.10 e 5.11.

Os dados de número e salário dos profissionais envolvidos foram obtidos a partir de entrevistas com profissionais da área.

Tabela 5.10 – Demanda de Mão de Obra Indireta

Número de funcionários	Função	Salário (R\$)	Encargos (R\$)	Valor total (R\$)
60	Técnicos e auxiliares	1.500	1.500	180.000,00
5	Supervisor de Produção	8.000	8.000	80.000,00
2	Engenheiro de Proc.	10.000	10.000	40.000,00
1	Gerente Operacional	18.500	18.000	37.000,00
Total mensal em reais (R\$)				337.000,00
Total anual em dólares (US\$)				8.088.000,00

Fonte: Compilação a partir de entrevista com corpo técnico

Os custos com manutenção serão da ordem de 2% do ISBL e somente irão ser considerados a partir do 3º ano de ano de operação da planta. Outro custo admitido será o seguro sobre a planta, 0,5% do ISBL. A tabela 5.11 demonstra os respectivos valores dos custos descritos neste parágrafo.

Tabela 5.11 – Custos Fixos de Operação

Custos fixos de operação	Valor total (US\$)
Manutenção (2% ISBL)	8.183.685,38
Seguro (0,5% ISBL)	2.045.921,35
Total anual em dólares	10.229.606,73

Fonte: Elaboração própria

5.4.3. Custos Variáveis

Os custos variáveis são função do nível de produção da unidade de processo, ou seja, custos que mudam de acordo com a quantidade de produção. Esses custos podem ser divididos em: demanda de mão de obra direta, demanda de matéria-prima e demanda por utilidades. As tabelas a seguir apresentam os valores de cada variável de custo separadamente.

Tabela 5.12 – Demanda de Matéria-Prima

Item	Consumo (t/a)	Preço (US\$/t)	Valor total (US\$)
Nafta DD	1.108.730	885,66	981.957.811,80

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5.13 – Demanda de Utilidades

Item	Consumo (un./a)	Preço (US\$/un.) *	Valor total (US\$)
Água de Resfriamento (m ³)	15.226.873,20	0,04	609.074,93
Combustível (MBTU)	7.669.486,44	12	92.033.837,28
Energia Elétrica (Kw/h)	112.099.680,00	0,08	8.967.974,40
Vapor de Alta Pressão (t)	588.523,32	27	15.890.129,64
Vapor de Média Pressão (t)	709.964,64	17	12.069.398,88
Total anual em dólares			129.570.415,13

* Fonte: Empreendimento Petrobras COMPERJ

5.4.4. Investimentos Totais

O somatório do investimento fixo, partida da planta, licenciamento de tecnologia e capital de giro nos dá o investimento total. O investimento fixo permite a implantação do projeto e o capital de giro garante a sua operacionalização.

O Capital de Giro é composto pelo gasto com os seguintes itens: necessidades mínimas de caixa (pagamento de matérias-primas, energia, encargos,...); estoques (matérias-primas, produtos em elaboração, produtos acabados, peças e componentes), financiamento das vendas (crédito dado aos compradores) e financiamento das compras (crédito recebido dos fornecedores). Para o cálculo do capital de giro, no presente trabalho, será considerado um mês de estoque de benzeno, 10 dias de estoque de para-xileno, 10 dias de estoque de nafta e estoque de catalisadores da reforma catalítica. O cálculo de estoque compreende o custo de mercado do referido produto multiplicada pela quantidade produzida no tempo determinado. O valor correspondente ao catalisador da reforma foi retirado do HANDBOOK OF PETROLEUM REFINING PROCESSES e corrigido da mesma forma que o investimento fixo (ISBL), levando em consideração os fatores capacidade e tempo. Assim, a esquemática do cálculo realizado esta descrito na tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Capital de Giro

Item	Volume(t/d)	Preço (US\$/t)	Estoque (dias)	Custo Total (US\$)
Nafta	3.359,79	885,66*	10	29.756.297,33
Benzeno	586,18	1.265,69**	30	22.257.503,84
Para-xileno	1.429,70	1.686,53**	10	24.112.268,30
Catalisadores	-	-	-	4.665.583,21
Capital de Giro (US\$)				80.791.652,68

*ANP; ** ICIS PRICING

Fonte: Elaboração própria com bases citadas

O valor do investimento fixo corresponde ao somatório do ISLB e OSLB, custos referentes à etapa de montagem e partida da planta.

É sugerido que o projeto, desde sua fase inicial, até a partida da planta seja dividido em etapas, realizando o fracionamento do investimento de maneira que 5% do investimento seja utilizado no primeiro ano, 15% no segundo ano, 37% no terceiro ano, e 43% no quarto ano afim de atender as necessidades graduais de projeto, construção e início de operação efetiva do complexo.

Assim o investimento total pode ser calculado e é apresentado na tabela 5.15.

Tabela 5.15 - Investimento Total em Dólares

Investimento fixo	572.857.976,77
Partida	45.828.638,14
Licenciamento de Tecnologia	10.000.000,00
Capital de Giro	80.791.652,68
Investimento total em dólares	709.478.267,59

Fonte: Elaboração Própria

5.4.5. Fluxo de Caixa

Sabe-se que projetos na área química costumam apresentar um retorno de viabilidade de dez a quinze anos aproximadamente. Para esse cálculo é necessário o cálculo do fluxo de caixa do projeto, que pode-se considerar como sendo uma resultante de fluxos financeiros de correntes de entrada e saída.

Os preços de venda para benzeno e para-xileno foram baseados no preço de comercialização do US Golf para o ano de 2012, encontrado na base de dados do ICIS pricing.

Para o preço de GLP, segundo dados da ANP, em 2010, o custo médio era de cerca de 1300 reais por tonelada. Segundo dados do Banco Central, a cotação média do dólar para o ano de 2010 foi de 1,76 reais por dólar, o que nos traz o valor de 738,63 dólares. Como não possuímos dados atuais para o preço de GLP usaremos a porcentagem média de crescimento dos demais produtos do complexo como base para cálculo de preço de 2012.

A correção do preço dos derivados de petróleo acompanha com confiabilidade significativa seu preço. No entanto o para-xileno, segundo dados da World Petrochemical Conference 2012, possui demanda global acima da média e taxa de crescimento de mercado de 6 % ao ano, bem acima do esperado para o crescimento do PIB mundial, cerca de 3,4 % ao ano nos próximos 5 anos.

Em consulta com profissionais de refinaria tem-se a informação confiável sobre o preço do refinado, que pode, e será considerado o mesmo preço da nafta, utilizando bases conservadoras. O preço do hidrogênio foi obtido do mesmo modo e ambos são descritos na tabela a seguir.

De acordo com a tabela 5.16 abaixo foi realizado o fluxo de caixa do projeto em questão.

Tabela 5.16 – Premissas para o Calculo do Fluxo de Caixa

Consideração	Valor
Preço unitário venda benzeno (US\$/t)	1.265,69
Preço unitário venda GLP (US\$/t)	891,526
Preço unitário venda para-xileno (US\$ / t)	1.686,53
Preço unitário venda refinado (US\$ / t)	885,66
Preço unitário venda H ₂ (US\$ / t)	1.200,00
Horizonte de planejamento	15 anos
Impostos	9,25% RL*
SG&A	4% RL*
Alíquota do IR	30%
Taxa mínima de atratividade **	10%

* RL - Receita Líquida ; **Taxa média

Fonte: Elaboração Própria

Desconsidera-se no fluxo de caixa descontado qualquer efeito inflacionário. Sendo assim, como a indústria química tem como praxe a utilização de uma taxa mínima de retorno de 15 %, ao nível de inflação de 5 % ao ano, pode-se considerar então uma taxa mínima real de 10 % ao ano.

O único imposto considerado nos cálculos será o PIS-COFINS, 9,25% da receita líquida. Os demais impostos são isentos, como o IPI e o ICMS, devido ao subsídio fiscal oferecido a área da SUAPE. Também será desconsiderado o imposto sobre o investimento. Vale lembrar que o benzeno, que teria a produção escoada para exportação seria também isento de PIS-COFINS, entretanto esse fato será desconsiderado nos cálculos.

O SG&A corresponde as despesas administrativas da planta, englobando taxas, viagens e demais gastos de áreas como Comercial/Marketing, RH, TI, Financeiro/Contabilidade, P&D etc. Esse custo corresponde a 4% da receita líquida, considerada a partir do 1º ano de operação. O tempo de depreciação considerado será de 15 anos, dentro do horizonte de planejamento.

Tendo em vista que os cálculos de investimento fixo, capital de giro, receitas de benzeno, GLP e para-xileno, custos fixos e variáveis de operação já foram previamente definidos. O calculo da depreciação é realizado a partir do conhecimento do investimento fixo, a partir da equação apresentada abaixo, considerando o método linear e que não há valor residual.

$$\text{Depreciação} = \frac{\text{Investimento fixo}}{\text{Horizonte de planejamento}} \quad (6.4)$$

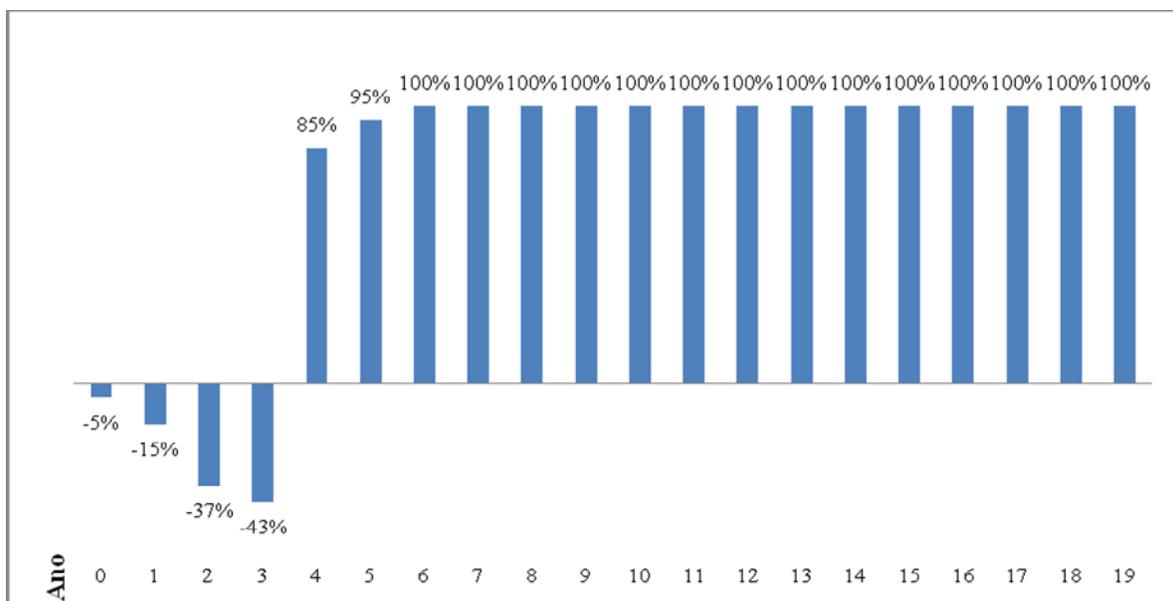
É também necessário o cálculo de alíquota de imposto de renda, assim deve-se calcular previamente o lucro tributável, que é a parcela sobre a qual o imposto de renda é calculado. O lucro tributável considera as parcelas dedutíveis de imposto, como juros e depreciação.

Simplificando em equações, temos as fórmulas de fluxo de caixa apresentadas abaixo.

$$\text{Fluxo de caixa} - \text{Entradas} - \text{Saídas} \quad (6.5)$$

$$\text{Fluxo de caixa} = \text{Receitas} - \text{Custos fixos} - \text{Custos variáveis} - \text{Imp. de renda} \quad (6.6)$$

Como já descrito anteriormente, utilizaremos 4 anos para a implementação efetiva do complexo aromático, tendo após esse período mais dois anos até que se alcance a capacidade total de produção desejada. A figura abaixo representa ao longo de 19 anos, a fase de projeto e os 15 primeiros anos produtivos do complexo, esperando-se um retorno financeiro neste período.



Fonte : Elaboração própria

Figura 5.4 - Planejamento de Investimento/Produção

Na tabela 5.17 são apresentados os valores calculados para o fluxo de caixa do projeto analisado.

Tabela 5.17 – Dados de Fluxo de Caixa para Complexo Aromático

Ano	Investimento Fixo	Capital de Giro	Receita total	Custo Fixo	Custo Variável	Depreciação	Lacros Tributáveis	Outras Despesas	Imposto de Renda	Fluxo de Caixa
0	31.434.330,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-31.434.330,75
1	94.302.992,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-94.302.992,24
2	232.614.047,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-232.614.047,52
3	270.335.244,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-270.335.244,41
4	0,00	80.791.652,68	1.146.004.710,92	10.133.921,35	944.798.992,89	38.209.627,05	152.862.169,63	20.254.237,48	45.858.630,89	5.957.628,59
5	0,00	0,00	1.280.828.794,56	10.133.921,35	1.055.951.815,58	38.209.627,05	176.533.430,58	23.390.679,55	52.960.029,17	100.182.721,85
6	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
7	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
8	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
9	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
10	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
11	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
12	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
13	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
14	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
15	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
16	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
17	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
18	0,00	0,00	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	102.255.200,69
19	0,00	80.791.652,68	1.348.240.836,38	18.317.606,73	1.111.528.226,93	38.209.627,05	180.183.375,67	23.874.562,28	54.055.612,70	183.046.853,37
VPL INTEGRAL										989.818.197,91

Fonte : Elaboração própria com base em dados calculados

Duas variáveis que discutem valores de viabilidade são de extrema importância e podem ser calculadas a partir da análise do fluxo de caixa.

O Valor Presente Líquido (VPL) significa, basicamente, o cálculo de quanto os futuros pagamentos somados a um custo inicial estariam valendo atualmente. Considerando o conceito de valor do dinheiro no tempo, entende-se como custo de oportunidade de se colocar, por exemplo, tal montante de dinheiro na poupança para render juros.

Já a Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa necessária para igualar o valor de um investimento (valor presente) com os seus respectivos retornos futuros ou saldos de caixa. Em análise de investimentos, significa a taxa de retorno de um projeto, literalmente.

Ambos conceitos financeiros podem ser considerados como sendo conceitos que validam ou não a atratividade econômica de um projeto e são representados matematicamente nas equações abaixo.

$$VPL(i) = \sum_{j=0}^n \frac{\text{Fluxo de caixa}(j)}{(1+i)^j} \quad (6.7)$$

$$VPL(i = TIR) = \sum_{j=0}^n \frac{\text{Fluxo de caixa}(j)}{(1+i)^j} = 0 \quad (6.8)$$

Tabela 5.18 – Valores dos Índices de Viabilidade

Índice	Valores
TIR	10,87%
VPL	US\$ 31.545.019,88
TR	7 anos

Fonte: Elaboração Própria

Considerando a Taxa mínima de atratividade (TMA) de 10 %, como referência de viabilidade, sendo esta utilizada como expectativa de ganho do investidor, e sabe-se que a atratividade de um projeto é garantida matematicamente quando a TIR se apresenta maior que o custo de capital do mesmo, dentro do horizonte planejado. Para a viabilidade financeira de um projeto, a TIR deve ser superior a TMA.

A TIR aparece normalmente como complemento do VPL quando partimos do cálculo deste utilizando uma TMA de referência. Assim, para um valor de VPL positivo é esperado um retorno viável.

No presente trabalho, o cálculo de VPL foi calculado considerando a TMA de referência, por tanto temos um valor positivo apresentado na tabela 6.29, que se refere ao valor presente referente aos 0,87 por cento acima da taxa de atratividade. Calculou-se também esse valor integralmente, desconsiderando a TMA, valor este que se apresenta na figura 6.28 como VPL integral.

O cálculo de TIR se apresentou ligeiramente superior a taxa mínima de atratividade, demonstrando inicialmente que o investimento é viável para a configuração da planta descrita.

5.5. Sensibilidade

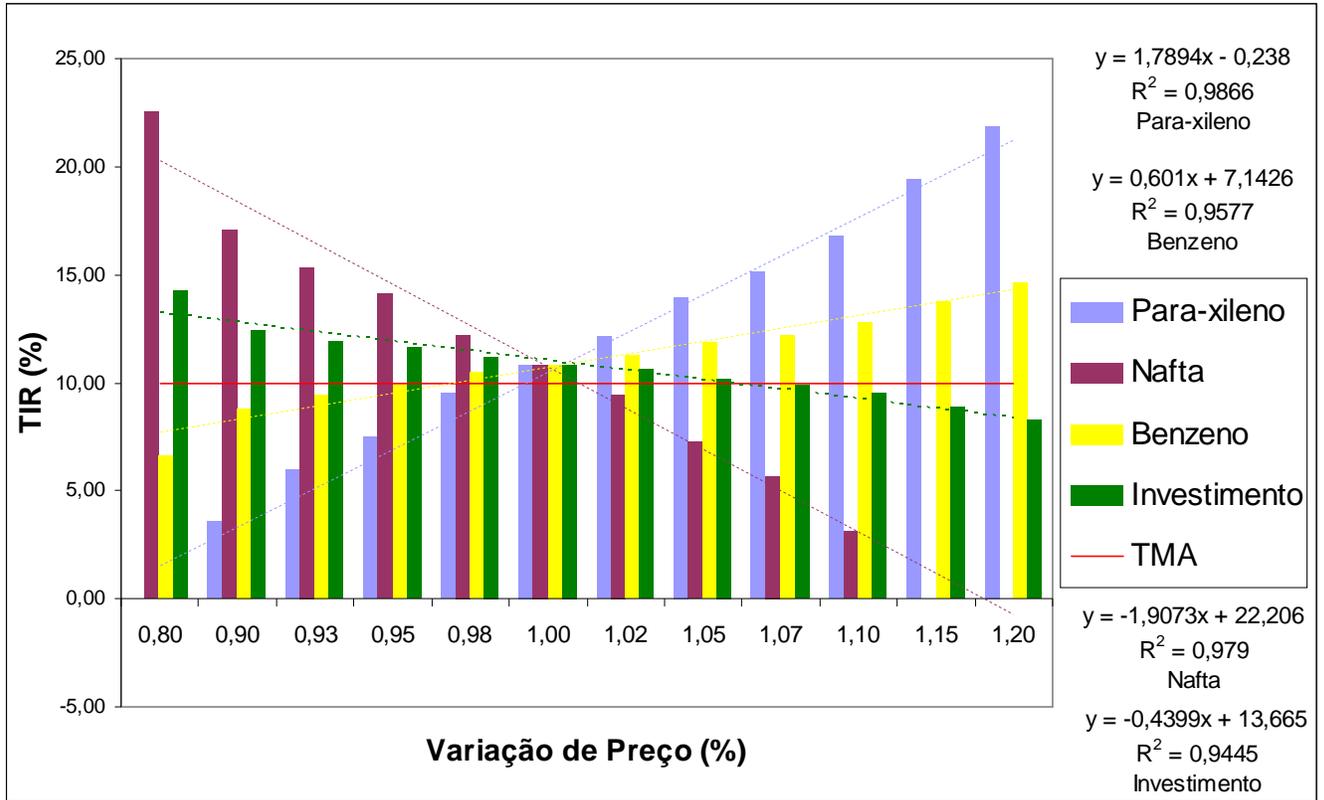
Com o objetivo de análise das possibilidades de variação de mercado, realizou-se

perturbações pessimistas e otimistas em relação ao preço de algumas variáveis consideradas relevantes para o projeto. O comportamento dessas variações foi analisado através do comportamento do TIR, buscando-se a percepção de quais as variáveis que mais afetam a viabilidade do projeto.

As variáveis estudadas:

- Preço do para-xileno
- Preço do Benzeno
- Preço da Nafta
- Custo de Investimento

O valor 1 corresponde ao valor obtido no estudo de viabilidade para as premissas que foram adotadas. Foram feitas variações positivas e negativas para valores de dois, cinco, oito, dez, quinze e vinte por cento, para as seguintes parâmetros de mercado: variação no preço dos produtos; variação no preço da matéria-prima; e variação do custo de investimento. A figura 5.5 apresenta o resultado deste estudo de sensibilidade.



Fonte : Elaboração Própria com dados do Fluxo de Caixa
 Figura 5.5 - Sensibilidade do Investimento em Relação às Principais Variáveis

Observa-se que o benzeno apresenta tendência similar ao para-xileno, por fazer parte da receita, tendo, no entanto uma sensibilidade em relação a variação do TIR menor por ser um produto de menor preço e volume, menos influenciável em relação a taxa interna de retorno.

É nítida a dependência de viabilidade do projeto em relação a receita do para-xileno e custo de matéria-prima, algo já esperado.

Considerando-se que variação de nafta e para-xileno são dependentes do preço do petróleo, é observado uma tendência de compensação no caso de variações positivas ou negativas. Entretanto,

é esperado uma porcentagem superior para a margem do para-xileno em relação aos demais produtos petrolíferos, devido a perspectiva de seu crescimento, que é de 6% ao ano, superior ao crescimento do PIB mundial, como já citado no estudo de mercado, no item 5.5, e esse fato confere robustez a este estudo de viabilidade.

CAPÍTULO 6

Resultados e Limitações

6.1. Resultados

Embora a expectativa de taxa de retorno mínima tenha sido alcançada neste estudo preliminar, para discussão de continuidade de estudo de um projeto como o apresentado tem-se outros fatores a se considerar.

Se inferirmos o aumento do preço de para-xileno ao longo dos anos com crescimento superior ao das demais variáveis conseguiríamos facilmente atingir uma atratividade bem superior a obtida neste trabalho, como demonstrado na análise de sensibilidade. Alguns analistas preveem um mercado demandante para os próximos anos como já citado, esse fato demonstra uma expectativa otimista.

Deve-se levar em consideração ainda que o preço unitário de receita não pode ser avaliado nesse estudo preliminar, por isso não houve possibilidade de subtração de impostos sobre o lucro tributável para o Benzeno. A isenção total seria devido a consideração de sua total exportação, e afetaria diretamente o fluxo de caixa e cálculos de viabilidade do investimento.

Por outro lado, considerando ainda como preço médio de para-xileno no ano de 2012, o valor utilizado na base de dados e a necessidade de importação de aproximadamente 471,8 mil toneladas para a unidade de Ácido Tereftálico da SUAPE, os gastos com importações, somente para a unidade de PTA da SUAPE somaria, aos preços atuais, aproximadamente 794 milhões de dólares anuais, importação essa provinda principalmente da Ásia, o que levaria a aproximadamente 10 % a mais de despesas logísticas e alfandegárias. Vale comentar que essa opção representa uma futura dependência do Brasil em relação a outros mercados para este produto.

Analisando ainda o mercado em blocos, na América Latina, podemos inferir facilmente, a partir do gráfico apresentado na figura 4.10 e seus valores, com base de dados do Chemsystems PPE Program, que a quantidade de importações necessárias por tonelada entre os anos de 2015 e 2025 seria de aproximadamente 4.915.000 toneladas, somando um gasto de aproximadamente 8 bilhões de dólares, fora, novamente, despesas logísticas e correções anuais de valor.

Deve-se levar em conta ainda que o estudo de sensibilidade demonstra grande dependência frente as oscilações do mercado de para-xileno e nafta. Principalmente no caso de interferências do mercados global, crises e instabilidades, poderiam acarretar a queda do valor do para-xileno e benzeno ou elevação do preço da matéria-prima, o que representaria um risco elevado ao projeto.

6.2. Limitações e Proposições de Aprofundamento

Dentro das premissas assumidas no presente trabalho, temos como limitações:

1) Os cálculos de balanço mássico foram baseados em dados de petróleo parafínico, usando como base o mesmo rendimento que o complexo teria no caso de utilização de um petróleo naftênico. Deve-se aprofundar o estudo para um petróleo da Bacia de Campos, naftênico, que deve apresentar melhores rendimentos, com tendência a reduzir o investimento.

2) Foi adotada a premissa o projeto de beneficiária de incentivos fiscais da região da Suape, em Pernambuco. Aprofundar esse análise fiscal e checar a extensão destes benefícios são necessários ao longo do fluxo de caixa.

3) Embora o estudo de mercado do benzeno seja feito com o objetivo de atender ao mercado externo, pelo fato de não ser possível um cálculo de custo unitário, pois não há detalhamento de processo no presente trabalho, tem-se a limitação de considerações sobre a tributação deste. O Benzeno é considerado como produto de escoamento interno, não existindo a isenção sobre o lucro tributável do mesmo no fluxo de caixa.

4) Não há conhecimento profundo sobre novos projetos do setor analisado, nem tanto a respeito da própria refinaria que é sugerida a implementação do Complexo Aromático, pelo fato da RNEST ser uma refinaria que ainda não está em atividade, não se tem conhecimento de dados de produção.

No caso de petroquímicos no Brasil essa análise de limitações vai ainda além da complexidade técnico-econômica quando falamos em uma empresa de economia mista que prioritariamente fornece a matéria-prima para este setor. Interesses além do econômico governam o fornecimento de produtos de primeira geração, visto que sua produção deve ser balanceada, a partir do petróleo disponível, com a produção de combustíveis, provindos da mesma matéria-prima, a nafta.

CAPÍTULO 8

Conclusão

7.1. Discussão

Embora a M&G já tenha demonstrado interesse público na compra de PTA da SUAPE, em nenhum momento demonstra interesse em reativar a planta de PTA que adquiriu em meados de 2007. Sabe-se que o grupo italiano se tornará concorrente da Petrobras quando a Companhia Petroquímica de Pernambuco entrar em operação. Vale ressaltar ainda que a desativação da planta de PTA, pela M&G, tirou a flexibilidade da unidade de para-xileno da Braskem de atuar no mercado interno e externo, obrigando a empresa a exportar para não desativar sua planta.

Ter um complexo aromático completamente integrado dá ao país a possibilidade de maior controle de mercado, evitando especulações e garantindo a produção independentemente do mercado externo.

Seria de fato muito mais interessante para a Petrobras ter domínio sobre a cadeia produtiva, integrando sua produção.

Quanto ao Comperj, atualmente este está em fase de replanejamento de seus objetivos de produção e cronograma de implantação. Mesmo que se concretize a produção de para-xileno, como inicialmente projetado, este poderia escoar diretamente para o demandante mercado da América do Sul nos próximos anos. A SUAPE apresenta inúmeras vantagens em relação ao fornecimento de para-xileno para a planta de ácido tereftálico de SUAPE, sendo a logística a maior delas, já que o para-xileno escoado do Rio de Janeiro, por cabotagem, até Pernambuco, acarretaria um aumento mínimo de 3 % do valor unitário por tonelada do produto.

7.2. Sugestões Adicionais

Tópicos a serem abordados podem enriquecer o estudo de implementação do complexo aromático apresentado, seriam eles:

- Possibilidade de flexibilização para outros aromáticos no Complexo

Um estudo mais aprofundado das unidades do complexo aromático pode fornecer maneiras de flexibilizar produções de BTX, principalmente de isômeros xilenos, como o orto-xileno, caso haja mercado no futuro.

- Possibilidade de flexibilização da Unidade de Reforma Catalítica

Com a implementação da unidade dentro da refinaria, pode-se pensar em flexibilização da produção de reformado, visando a atender parcialmente, se necessário, o mercado de combustíveis.

7.3. Conclusões

Embora sejam apresentados valores de investimento elevados, estes retornariam de forma a garantir a produção nacional do PET independente de importações, ou seja, manteriam o setor menos suscetível a balanços e crises internacionais.

Para produção de PTA é imprescindível que o país não dependa totalmente de importações de para-xileno, em vista da oscilação de preços de petroquímicos no mercado internacional e interesses econômicos de empresas e regiões. O complexo aromático sugerido neste trabalho daria maior autonomia a Petrobras, não só para o mercado de PET, mas já utilizando o complexo instalado e a unidade de reforma catalítica poderia-se estudar outras rotas para possibilitar a flexibilização de produção de outros insumos petroquímicos e combustíveis, dependendo do mercado.

Como analisado em todo o trabalho apresentado, existe espaço para a implementação de um novo complexo aromático no nordeste. A projeção de consumo na América do Sul sustenta essa hipótese, principalmente a longo prazo, já que as projeções atuais até 2025 mostram uma total dependência futura de importações.

Conclui-se que o aprofundamento desse estudo de viabilidade deve ser realizado para se checar a rentabilidade do projeto, que apresentou resposta positiva com possibilidades promissoras de melhoria atendendo a uma taxa de atratividade mínima. Deve-se portanto aprofundar esse estudo para reduzir o seu risco, pois o estudo preliminar apresenta um cenário favorável a este tipo de projeto e serve como base para verificações posteriores.

CAPÍTULO 9

Referências Bibliográficas

- ABIQUIM. Anuário da Indústria Química Brasileira, vol. 1996 a 2011;
- ALVES, F. C., Planejamento e Avaliação de Projetos Industriais. Notas de aula. (2011);
- ULLMAN'S Encyclopedia of Industrial Chemistry, Release 2002 of the sixth edition, electronic version;
- MEIQ. A química dos negócios. Versão eletrônica (2006);
- MEYERS, R. A., Ed. Handbook of Petroleum Refining Processes. New York, 3 ed. 2004.
- WAUQUIER, J.P., 1995. Petroleum Refining series, Vol. 1, Editions Technip, Paris, France.
- CARNAHAM, B., LUTHER, H. A., WILKES, J. O. Applied Numerical Methods. New York: John Wiley e Sons, Inc., 1969.
- GARY, JAMES H., HANDWERK, GLENN E. Petroleum Refining; Technology and Economics. Marcek Dekker, 2001.
- PERRONE, OTTO VICENTE. A indústria petroquímica no Brasil – Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- Richard Turton, Richard C. Bailil, Wallace B. Whiting, Joseph A. Shaeiwitz, Analysis Synthesis and Design of Chemical Processes, Second Edition
- KUO, T. & CHANG, C. Optimal planning strategy for the supply chains of light aromatic compounds in petrochemical industries. Computers and Chemical Engineering 32. p. 1147-1166, 2008.
- TSAI, T.; LIU, S.; WANG, I. Disproporation and transalkylation of alkylbenzenes over zeolite catalysts. Applied Catalysis A: General 181 (1999) p. 355-398, 1998.
- RUTHVEN, D. M., CHING, C. B. Counter-current and simulated counter-current adsorption separation processes, Chemical Engineering Science, v. 44, 1989.
- Setores da Indústria Química Orgânica/ Adelaide Antunes, Organizadora. – Rio de Janeiro: E-papers, 2007.
- LEITE, L. F. “Inovação de um Esquema Produtivo de um Complexo Petroquímico”, 1º Workshop de Inovação e Sustentabilidade na Indústria Química Brasileira, Hotel Everest, Rio de Janeiro, RJ, junho de 2009.
- Chase Willet, Director . “PX e PTA: The New Normal ?”, IHS, World Petrochemical Conference 2012, Polyester e Polyester Raw Materials, March 2012.

Listagem de Teses

SARCINELLI, DANILO RADEFELD. Análise de competitividade dos polos petroquímicos brasileiros. Monografia, ESCOLA DE QUÍMICA, UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

MONTEIRO, ROBSON ANGELO, RIBEIRO, CARLOS EDUARDO AMANCIO, SILVA, GABRIEL MIGLIANO. Projeto de implementação de uma planta industrial de Pentaeritritol Grau Técnico. Projeto final, ESCOLA DE QUÍMICA, UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

RIBEIRO, VANJA CÉLIA SALES. Modelagem simulação e controle de um reator radial empregado na isomerização de xilenos. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas, 2002.

MOREIRA, FABRÍCIA DE SOUZA. A integração refino petroquímica como alternativa para atendimento do crescente mercado de petroquímicos. Tese de Mestrado, Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

SANTOS, PATRÍCIA CARNEIRO. Recentes impactos da indústria petroquímica sobre o parque de refino. Tese de Mestrado, Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

CERUTTI, EDELAR LOCATELLI. Separação de compostos petroquímicos em unidades de leito móvel simulado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

KLAFKE, NATÁLIA. Aplicação de metodologias de controle global a um processo de transalquilação e desproporcionamento de tolueno (TADP). Tese de Mestrado, Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

SOUSA, ELISABETH CRISTINA MOLINA. Investigação da influência das condições de contorno na modelagem de um leito móvel simulado e sua aplicação na purificação de para-xileno. Tese de Mestrado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

MINCEVA, M. Separation/Isomerization of Xylenes by Simulated Moving Bed Technology. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2004.

RUIVO, D. S. Estudo das unidades de extração de aromáticos e de purificação de para-xileno em um complexo aromático. Monografia, Pós graduação em engenharia de processamento de petróleo e gás, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Portais Eletrônicos

ICIS PRINCING, <http://www.icispricing.com> . Acesso em novembro, 2012;

WIKIPÉDIA, http://pt.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:P%C3%A1gina_principal. Acesso em novembro, 2012;

FOREXPROS, <http://www.forexpros.com.pt/commodities/brent-oil> . Acesso em novembro, 2012;

FGV PROJETOS, http://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/miolo_mielnik_final_view_19abr12.pdf. Acesso em novembro, 2012;

TN PETROLEO, http://www.tnpetroleo.com.br/pdfs/tab_conver_petro_gas_sda.pdf . Acesso em novembro, 2012;

FORUM NACIONAL, <http://www.forumnacional.org.br/pub/ep/EP0419.pdf> . Acesso em novembro, 2012;

INDEX MUNDI, <http://www.indexmundi.com/pt/pre%E7os-de-mercado/?mercadoria=%C3%ADndice-de-pre%C3%A7os-do-petr%C3%B3leo-bruto> . Acesso em novembro, 2012;

UOP, <http://www.uop.com>. Acesso em novembro, 2012.

Diários Eletrônicos

OGJLA. Mossi & Ghisolfi negocia compra de PTA com Petrobras. Notícia, 12/06/2012.

G1. Entenda a diferença entre os tipos de petróleo. Notícia, 29/05/2008.

ECONOMICO. Petróleo arrefece para 107 dólares em Londres. Notícia, 16/11/2012.