

5

O Modelo de Planejamento Estratégico da Cadeia Integrada de Petróleo

No intuito de auxiliar o planejamento estratégico da cadeia integrada de petróleo foi desenvolvido no âmbito desta dissertação um modelo de programação estocástica em dois estágios. Este modelo é baseado na abordagem de análise de cenários e trata três fontes de incerteza: oferta de óleo bruto, demanda nacional por derivados e preços de mercado para derivados e petróleo. O uso deste sistema permite a realização de estudos sobre a cadeia integrada de petróleo, avaliando alternativas de projetos para expansão do parque de refino e da infra-estrutura logística. O impacto de mudanças na legislação ambiental, geração de novas tecnologias e redução da dependência de petróleos e derivados importados também podem ser analisados através do modelo proposto.

O modelo de programação linear (LP) proposto tem como objetivo maximizar o valor esperado do lucro na operação de refino garantindo o pleno atendimento da demanda nacional. Os seguintes fatores que afetam o abastecimento nacional foram tratados neste trabalho:

- A configuração do parque de refino nacional;
- Custos de operação das refinarias;
- Custos de transportes envolvidos na movimentação de petróleos e derivados;
- Produção brasileira de petróleo (estocástico);
- Produção brasileira de gás natural e óleo vegetal;
- Oferta de petróleo e derivados no mercado internacional;
- Consumo nacional de derivados (estocástico);
- Preços de petróleo e derivados no mercado internacional (estocástico);
- Preços de petróleo e derivados no mercado nacional;
- Importação e exportação de petróleos e derivados;

- Especificações para comercialização de derivados definidas por órgãos reguladores do setor de petróleo;
- Ampliações de unidades de processo e outras expansões já previstas;
- Investimentos em refino e transporte de petróleo e derivados.

As decisões do modelo com relação ao refino incluem determinar o *blending* de petróleos para cada refinaria, a produção em cada unidade de processo, o momento para realização de investimentos em novas instalações ou expansão da capacidade de unidades já em operação. Com relação à rede logística, o modelo deve definir os fluxos de menor custo para fornecimento das refinarias e distribuição dos derivados, os instantes para investimento em infra-estrutura logística ou a ampliação de dutos já existentes.

A seguir será apresentada uma descrição detalhado do problema estudado.

5.1

Descrição do Problema

Nesta seção a cadeia integrada de petróleo como apresentada na Figura 5.2 será descrita de forma a introduzir o problema tratado nesta dissertação. Os campos de exploração estão posicionados na origem da cadeia e representam as fontes de petróleo nacional. O petróleo nacional é enviado por modal dutoviário ou marítimo até os terminais de onde saem para atender às refinarias ou para exportação. O petróleo processado nas refinarias também pode ser obtido de fontes internacionais. Os petróleos internacionais são transportados por modal marítimo até os terminais, os quais estão conectados por uma rede de dutos às refinarias. As refinarias recebem, além do petróleo, gás natural e óleo vegetal de produtores nacionais e/ou internacionais. Os produtores de gás natural também podem atender as bases de distribuição que abastecem diretamente o mercado consumidor.

Nas refinarias o óleo bruto é transformado em produtos comercializáveis através de diversos tipos de processos descritos por Tavares (2005) como:

- Processos de separação: têm por objetivo separar o petróleo em suas frações básicas ou processar uma fração previamente produzida no sentido de retirar dela um grupo específico de componentes (destilação em suas várias formas, desasfaltação a propano, desaromatização e desparafinação/desoleificação a solvente, dentre outros);
- Processos de conversão: transformam uma fração em outra ou alteram profundamente a constituição molecular de uma fração, sem, no entanto, transformar a fração em outra (craqueamento catalítico, hidrocrackeamento, alcoilação, reformação e a isomerização, craqueamento térmico, viscorredução, coqueamento retardado ou fluido);
- Processos de tratamento: proporcionam a melhoria de cortes de produtos semi-acabados, eliminando ou reduzindo impurezas presentes em suas constituições; são bastante utilizados em frações leves (gases, GLP e naftas); quando utilizados para especificação de frações médias (querosene, óleo diesel) ou pesadas (gasóleos, lubrificantes, resíduos) são necessários processos que operam em condições mais severas, onde o agente responsável pela remoção de impurezas é o hidrogênio, (hidrocrackeamento catalítico, hidrodessulfurização e hidrotreatamento).
- Processos auxiliares: são aqueles que se destinam a fornecer insumos à operação dos outros processos citados ou tratar rejeitos desses mesmos processos (geração de hidrogênio, recuperação de enxofre, utilidades).

Um exemplo de diagrama de fluxos de uma refinaria típica é mostrado na Figura 5.1. As refinarias podem ainda estar ligadas umas as outras, a fim de obter o melhor aproveitamento da configuração existente em cada refinaria.

O destino final desta cadeia são as bases primárias e secundárias responsáveis pela distribuição. Os derivados produzidos nas refinarias são normalmente transportados via dutos para terminais, e daí para frente podem ser transportados por diferentes modais (dutiaviário, ferroviário, rodoviário e aquaviário) até as bases.

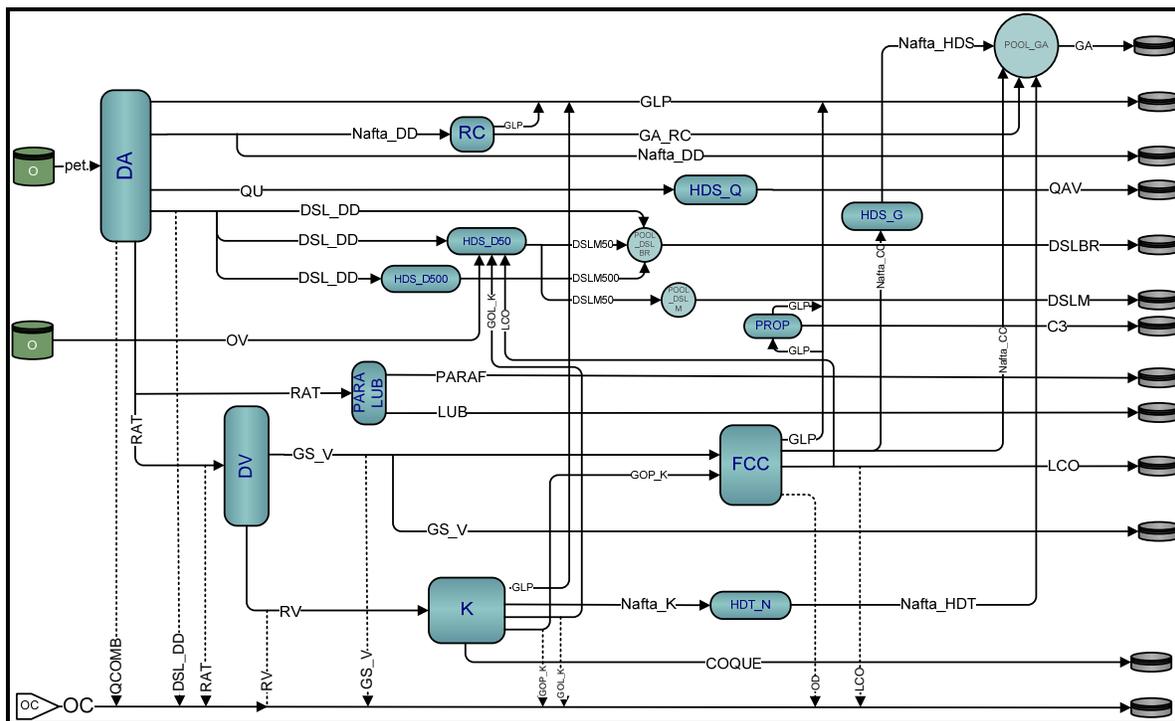


Figura 0.1: Fluxograma de uma refinaria.
Fonte: Oliveira e Hamacher (2007)

5.2

Descrição do Modelo Matemático

Nesta seção serão descritos os elementos utilizados para representar a cadeia integrada de petróleo pelo modelo matemático.

5.2.1

Rede Logística – Nós

A rede logística é composta por um conjunto de nós conectados entre si como ilustrado na figura 5.2. Os nós podem ser separados nos seguintes sub-conjuntos:

- Campo de exploração: são as fontes de petróleo nacional. O petróleo nacional é enviado até os terminais de onde saem para atender as refinarias ou para exportação. Todo produto exportado, seja ele petróleo ou derivado, passa por um terminal antes de ser transportado até o mercado consumidor internacional representado pelo nó internacional.
- Produtor de gás natural: as refinarias também são abastecidas por produtores nacionais e internacionais de gás natural. Os produtores de gás natural podem atender as bases de distribuição que abastecem diretamente o mercado consumidor interno.
- Produtor de óleo vegetal: alimenta diretamente a refinaria e serve de carga para unidade de hidrodessulfurização (HDS) na produção de diesel com baixo teor de enxofre. O óleo vegetal também pode ser exportado passando por um terminal e seguindo para um nó internacional.
- Refinaria: recebe matéria prima dos nós produtores e transforma em produtos comercializáveis para atender o mercado interno e externo. Detalhes sobre os processos que compõe a refinaria estão na seção 5.2.3.
- Nó Internacional: representa o mercado consumidor de petróleo e derivados localizado fora do território nacional. Além disso, o nó internacional também fornece petróleo e derivados importados para atender a demanda interna. Todos os produtos que chegam (exportação) ou saem (importação) de um nó internacional passam por um terminal.
- Terminal: Os terminais têm basicamente a função de receber e expedir petróleos, óleo vegetal, gás natural e derivados; servindo de ponto intermediário para os fluxos.

- Base: podem receber e expedir derivados, gás natural e óleo vegetal caso a rota passando pela base seja a de menor custo de transporte. As bases também estão associadas às demandas dos derivados comercializáveis. Esta representação é uma forma de agrupar as demandas, na prática a transferência dos derivados para as bases tem o objetivo de aproximar os estoques dos centros consumidores.

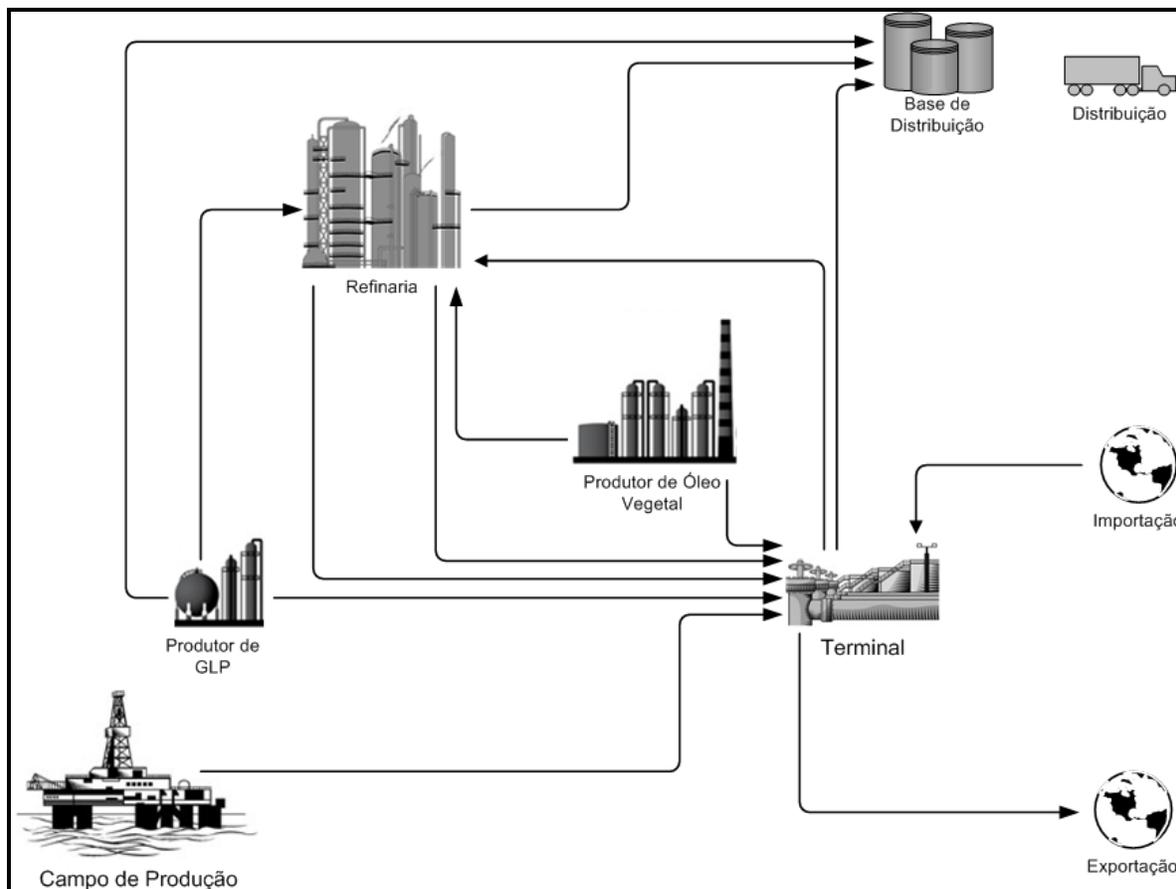


Figura 0.2: Rede logística.

5.2.2

Rede Logística – Arco de Transporte

A rede logística é composta por um conjunto de nós (campo de exploração, produtor de gás natural, produtor de óleo vegetal, nó internacional, refinaria, terminal e base) ligados entre si por arcos de transporte. O arco de transporte armazena informações de nó de origem, nó de destino, modal de transporte e classe de produto.

Os modais considerados neste trabalho foram: dutoviário, rodoviário, ferroviário e aquaviário. A classe de produtos permite que vários produtos com características semelhantes sejam agrupados e compartilhem um mesmo arco de transporte reduzindo assim o porte do modelo matemático.

No exemplo abaixo estão representados três arcos de transporte para movimentar produtos da refinaria para o terminal:

1. Liga a refinaria ao terminal através do modal rodoviário e permite transportar produtos da classe de claros (diesel, gasolina, nafta e querosene);
2. Transporta pelo modal dutoviário produtos da classe de claros;
3. Movimenta pelo modal dutoviário produtos da classe de escuros (óleo combustível, gasóleos e resíduo de vácuo).

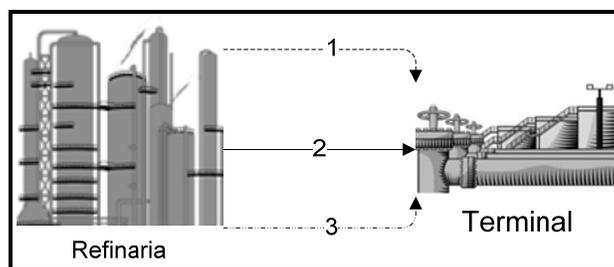


Figura 0.3: Arco de transporte.

Observe que para o mesmo par (refinaria, terminal) existem dois arcos (2 e 3) do mesmo modal transportando produtos de classes diferentes, isto ocorre, pois no caso de dutos existem redes dutoviárias distintas para produtos com características diferentes e precisam ser representados no modelo separadamente. No caso dos arcos 1 e 2 temos modais concorrentes utilizados para a movimentação da mesma classe de produtos.

5.2.3

Refinaria – Unidade de Processos

A refinaria é composta de unidades de processo e de tanques para mistura de produtos. Um exemplo do diagrama de fluxos completo de uma refinaria foi

mostrado anteriormente na figura 5.1. A ilustração abaixo apresenta o fluxo de um único produto, o querosene, ao longo da refinaria de modo a destacar particularidades da operação de refino modelada neste trabalho.

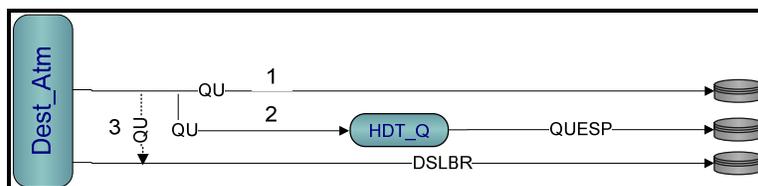


Figura 0.4: Unidade de Processo.

O querosene (QU) é produzido na unidade de destilação atmosférica (Dest_Atm) e pode seguir três fluxos:

1. O querosene (QU) pode seguir direto para o tanque de onde será transportado para atender o mercado consumidor;
2. O querosene (QU) pode ser utilizado como carga da unidade de tratamento (hidrotratamento - HDT_Q) de forma a obter uma qualidade específica (querosene especificado - QUESP);
3. O querosene (QU) pode degradar em diesel (DSLBR), isto é, adicionar a corrente de diesel um certo volume de querosene.

A degradação no modelo matemático proposto tem duas funções, uma delas é simplesmente aumentar o volume de um produto de menor valor ao adicionar um produto de maior valor a sua corrente. A outra função é melhorar a qualidade de um produto degradando produtos de melhor qualidade (menor teor de enxofre ou menor viscosidade) em sua corrente.

5.2.4

Investimento

No modelo matemático proposto são tratados dois tipos de investimento: (1) investimento em refino e (2) investimentos em infra-estrutura logística. Os

investimentos em refino incluem a expansão (aumento da capacidade) de unidades já em operação, a instalação de novas unidades de processamento e até mesmo de refinarias inteiras. Os investimentos em infra-estrutura logística consideram a construção de novas vias para o escoamento de matérias-prima e produtos comercializáveis.

O custo de investimento aparece como uma parcela única no período em que ocorre o investimento. No intuito de evitar que o investimento ocorra antes do momento necessário o custo de investimento é dimensionado em função do horizonte de planejamento e da vida útil do projeto. Considere o caso de um investimento de USUS\$100 milhões em uma unidade de hidrotratamento no ano 6, onde a vida útil da unidade é de 20 anos e o horizonte de planejamento é de 10 anos.

O valor do investimento fica:

$$\left(\frac{KC_{r,u} \cdot (NT - n + 1)}{LT_{r,u}} \right) = \frac{\$100 \cdot (10 - 6 + 1)}{20} = \$25 \quad (5.1)$$

onde $KC_{r,u}$ é o custo de investimento na refinaria r e unidade de processo u , NT é o horizonte de planejamento, n é o período em que ocorreu o investimento e $LT_{r,u}$ é a vida útil do projeto para cada refinaria r e unidade de processo u .

O cálculo do custo de investimento em infra-estrutura logística foi feito de forma análoga.

5.2.5

Exportação e Importação

A exportação e a importação de petróleo e derivados representam os possíveis desvios do problema estocástico, sendo que a exportação é premiada (termo positivo na função objetivo) e a importação é penalizada (termo negativo na função objetivo). A inclusão de medidas de desvio em um problema de recurso com dois estágios

permite que toda solução de primeiro estágio seja viável para o problema de segundo estágio. Mais especificamente, em um problema de cadeia de suprimentos onde o objetivo é maximizar o valor esperado do retorno, é possível usar os preços de mercado para exportação e importação como penalização (positiva e negativa respectivamente), evitando o problema de dimensionamento incorreto dos valores usados para penalizar a função objetivo.