

2. Descrição do Problema.

2.1. O Refino de Petróleo

Sistemas de produção contínua normalmente envolvem a manufatura de um único produto (plantas monoproduto) ou de um grupo pequeno de famílias de produtos (plantas multiproduto) relacionados tecnologicamente, em quantidades grandes, através de roteiros fixos (Hax & Candea, 1984). A demanda pelos produtos é geralmente grande, estável e contínua, tornando economicamente vantajoso projetar a planta industrial na forma de uma linha de produção (ou linha de montagem, no caso de processos de montagem), que produza os itens a uma taxa virtualmente igual a sua taxa de consumo (Alle, 2003).

Se a linha envolve uma seqüência de operações distintas, realizadas em estágios consecutivos e com velocidades de processamento diferentes, há a necessidade de inventário intermediário, que funcione como tampão (*buffer*) entre os estágios, mantendo a linha operando continuamente. No caso de linhas que processam mais de um produto (linhas multiproduto), os produtos devem ser processados dentro de um ciclo de produção, e é necessário o armazenamento dos produtos finais para que a demanda contínua possa ser atendida sem interrupção (Alle, 2003).

As refinarias de petróleo constituem o mais importante exemplo de plantas contínuas multiproduto, isto é, um sistema de processamento contínuo gerador de múltiplos produtos (Moro, 2000). Uma refinaria, em geral, processa um ou mais tipos de petróleo, produzindo uma série de produtos derivados, como o GLP (gás liquefeito de petróleo), a nafta, o querosene e o óleo diesel (Hax & Candea, 1984).

Podemos dividir o controle da produção de uma refinaria de petróleo em três níveis de tomada de decisão: Planejamento da Produção, Programação da Produção e Operação. Essa divisão lógica pode ser observada na figura 1.

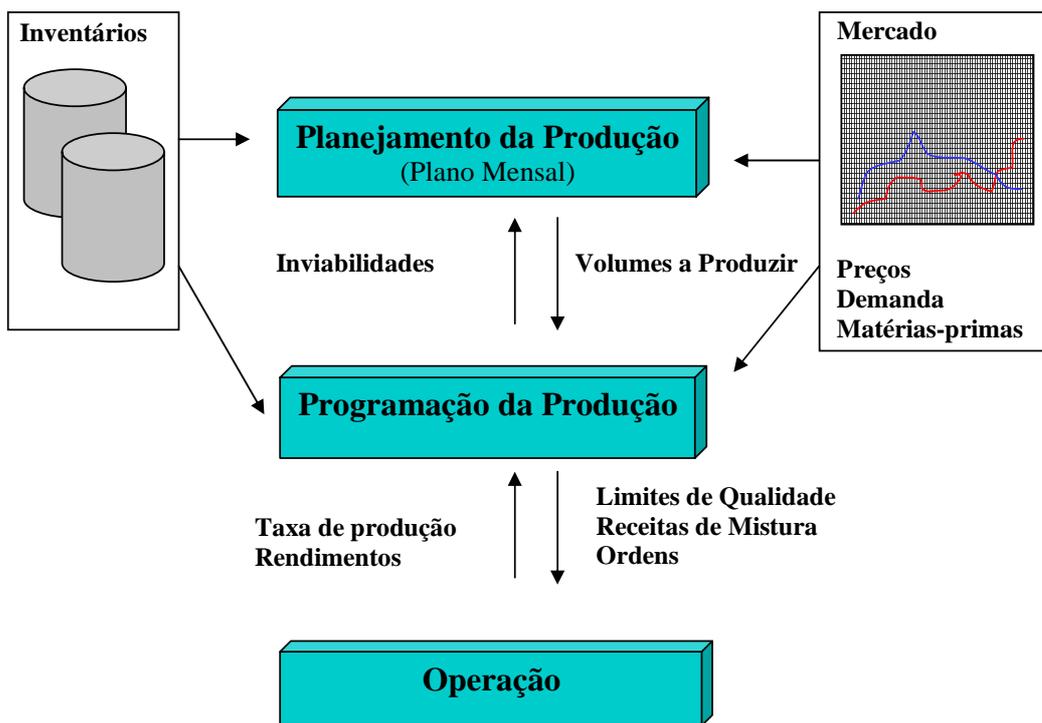


Figura 1-Esquema do Processo de Refino.

2.2. Planejamento da Produção (*Planning*).

De um modo geral são realizados dois tipos de planejamento da produção, diferenciados pelo horizonte a ser avaliado (Smania, 2002). O primeiro tipo visa a determinar a produção ótima a ser realizada a médio e longo prazos (de três meses até doze meses) e os recursos necessários a sua concretização (ex: matéria-prima, necessidades logísticas) (Moro, 2000). O segundo é o planejamento de curto prazo (até dois meses), que emprega um modelo mais detalhado e busca a otimização mensal média da produção através da maximização da margem bruta (Smania, 2002).

Apesar das variações de refinaria para refinaria, de um modo geral todas trabalham com um *plano mensal* de produção.

Este plano é elaborado com base no mercado dos derivados de petróleo (preço e qualidade de matéria-prima e insumos; demanda, preços e restrições de qualidade de produtos), restrições de capacidade das unidades e de estoque, e estoque atual de matéria-prima, de produtos intermediários e finais.

No plano de produção são definidos, basicamente, quais matérias-primas e insumos serão comprados e quando serão recebidos, que tipos e quantidades de produtos serão produzidos e quando serão entregues, e o nível de utilização das unidades de processo.

2.3. A Programação da Produção.

Na programação define-se *como* as quantidades de cada produto, apontadas no planejamento, devem ser produzidas, considerando:

- Previsão de produção definida pelo planejamento (preços, datas e quantidades);
- Quantidades e qualidades de matéria-prima comprada;
- Preço, quantidade e qualidades de produtos intermediários (inventário atual);
- Restrições de estoques e alinhamentos (topologia da planta);
- Forma de escoamento e entrega dos produtos finais;

O programador de produção deve definir as atividades que serão realizadas em cada equipamento em cada instante, de modo a viabilizar da melhor forma possível a produção prevista. Ou seja, o resultado final da programação é um conjunto diário de ordens de tarefas a serem executadas na operação dos equipamentos da refinaria.

2.3.1. Processos envolvidos.

Uma refinaria típica simplificada pode ser vista na figura 2.

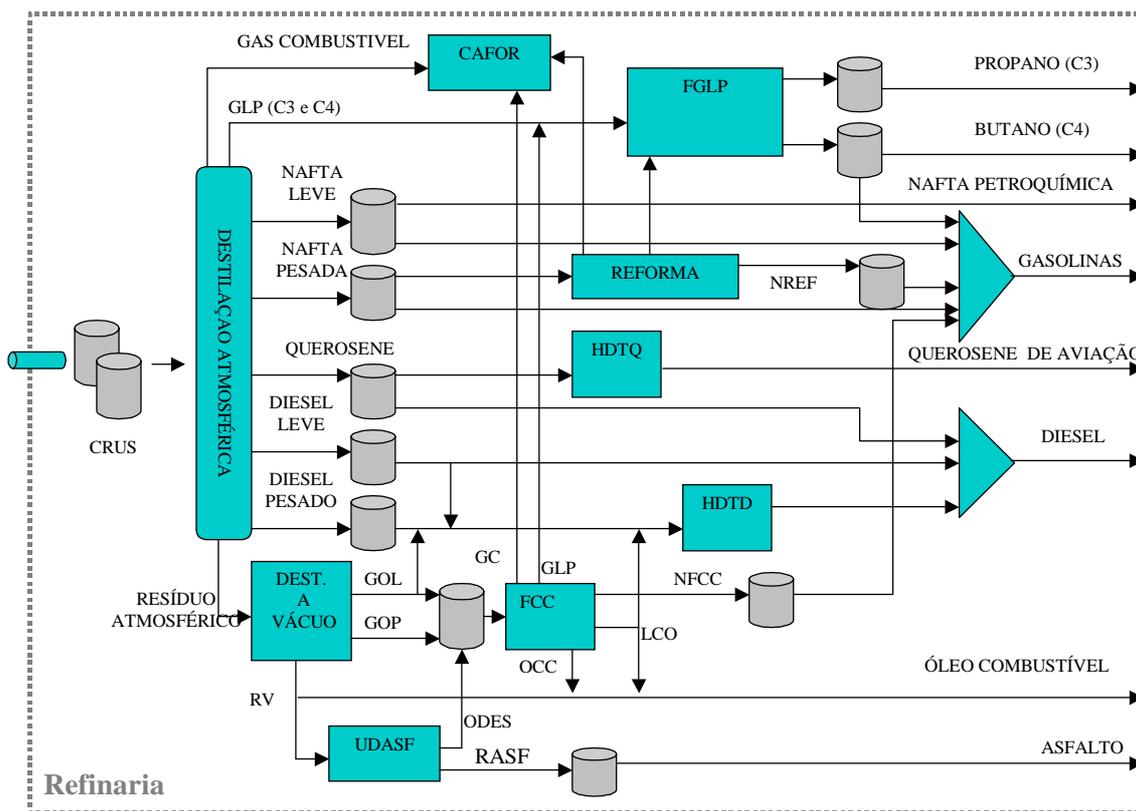


Figura 2-Eschema Simplificado de uma Refinaria de Petróleo.

O processo produtivo numa refinaria como esta pode ser descrito através dos seguintes passos:

1. O petróleo (cru) é recebido por um oleoduto com data/hora e volumes definidos (item) na área de crus da refinaria e é alocado em um ou mais tanques (recebimento de item). Um ou mais tanques enviam petróleo à unidade de destilação atmosférica (UDA), que separa esta carga em diferentes frações, as quais serão destinadas aos diversos processos da refinaria.
2. A fração, ou corte, de gás combustível (GC) é enviada em sua totalidade à Planta de Gás (CAFOR) da refinaria para gerar energia e participar na produção de hidrogênio;
3. O GLP (gás liquefeito do petróleo) é enviado para a unidade FGLP para ser separado em propano (C3) e butano (C4), que serão vendidos como produtos finais ou, no caso do C4, utilizado na mistura de gasolina (gasoline blending);
4. A Nafta leve de destilação (NL) é enviada para tanques, para mais tarde ser vendida como nafta petroquímica, ou para ser utilizada na produção de gasolina automotiva (Gas. Comum - GCOM, Gas. Premium - GPRE);

5. A Nafta pesada (NP) pode ser enviada para a REFORMA para aumento de octanagem (Reformado - NREF) para produção de gasolina, ou diretamente para ser utilizada na mistura de gasolina;
6. O Querosene (QUE) pode ser enviado para a unidade de hidrotreatamento de querosene (HDTQ) para ser tratado e vendido como querosene de aviação (QAV), ou ser utilizado na produção de óleo diesel;
7. O Diesel leve (DL) pode ser enviado diretamente para a produção de diesel, ou para o hidrotreatamento de diesel (HDTD), para mais tarde ir para a produção de diesel (DS);
8. O Diesel pesado (DP) é enviado diretamente para o HDTD, para mais tarde ir para a produção de diesel;
9. O Resíduo atmosférico (RAT) é enviado para a unidade de destilação à vácuo (UDV) onde é separado em: Gasóleo leve (GOL), Gasóleo Pesado (GOP) e resíduo de vácuo (RV):
10. O GOL pode ser enviado totalmente para à unidade de craqueamento catalítico (FCC), para a produção de GC, GLP, Nafta de Craq. Catalítico (NFCC), Óleo leve de reciclo (LCO) e Óleo Clarificado (OCC), ou pode ser em parte misturado à corrente de DP;
11. O GOP é totalmente enviado à FCC;
12. O RV é enviado para a unidade de desasfaltamento (UDASF) para a produção de óleo desasfaltado (ODES) e resíduo asfáltico (RASf).

De um modo geral, podemos dividir uma refinaria em cinco grandes blocos, como na figura 3. Os processos contidos em cada um destes blocos são discutidos em maiores detalhes a seguir.

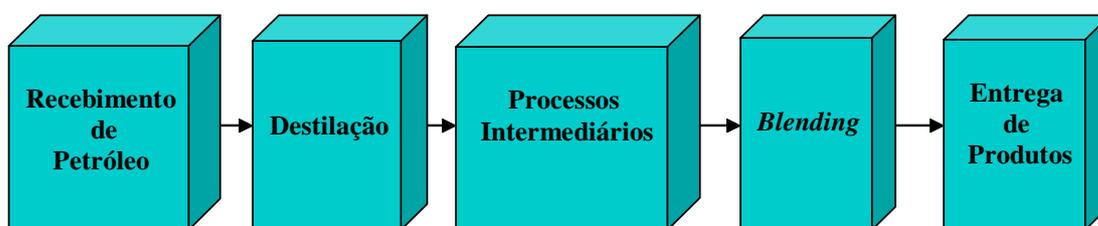


Figura 3 – Divisão da Refinaria.

2.3.1.1.Recebimento de Petróleo

Inicialmente, o petróleo bruto a ser processado deve ser recebido na refinaria, normalmente através de um oleoduto entre um terminal portuário, onde ocorre a descarga dos navios, e a refinaria.

Ao ser recebido na refinaria, o petróleo é estocado em tanques, de acordo com suas propriedades físico-químicas. Ou seja, como as características de cada fração retirada da torre de destilação dependem basicamente das características do petróleo destilado, o programador, ao ter seu estoque de crus organizado por suas características, poderá prever os rendimentos e características de cada fração do petróleo que será destilado.

Quando petróleos com características diferentes são recebidos em seqüência por um mesmo duto, na fronteira entre eles é comum ocorrer uma mistura. Para se preservar a qualidade daquele considerado mais nobre, esta faixa de volume é normalmente enviada a um outro tanque.

2.3.1.2.Destilação do Petróleo

O petróleo bruto, ou cru, deve ser submetido à destilação para que tenha seu potencial energético efetivamente aproveitado. Normalmente as refinarias contam com duas unidades de processo para efetuar a destilação do petróleo: Destilação Atmosférica e Destilação a Vácuo.

A destilação atmosférica é um processo físico de separação, baseado na diferença entre os pontos de ebulição dos compostos coexistentes numa mistura líquida. Como os pontos de ebulição dos hidrocarbonetos presentes na mistura do petróleo aumentam com seus pesos moleculares, ao se variarem as condições de aquecimento do petróleo, é possível vaporizar-se compostos leves, intermediários e pesados que, ao se condensarem, podem ser separados. Neste processo, ocorre, também, a formação de um resíduo bastante pesado que, nas condições de temperatura e pressão da destilação atmosférica, não se vaporiza. Por isso existe a necessidade de se submeter este resíduo a um outro processo de separação.

O resíduo de vácuo, produzido na destilação atmosférica, é um corte de alto peso molecular e baixo valor comercial. Contudo, existem frações nele, como os gasóleos, de mais alto valor e que não podem ser vaporizadas na destilação

atmosférica, pois o limite máximo de temperatura da destilação é inferior a seus pontos de ebulição.

Como a temperatura de ebulição varia diretamente com a pressão, ao se reduzir a pressão, reduz-se o ponto de ebulição. Então, trabalhando em pressões subatmosféricas é possível retirar do resíduo atmosférico os gasóleos. Este processo se chama destilação a vácuo.

2.3.1.3.Processos Intermediários

Este bloco da refinaria é o que mais varia de uma planta para outra. Nele estão todos os processos de separação e tratamento das frações de petróleo vindas da destilação. Na refinaria mostrada na fig.2 temos:

- Planta de Gás (CAFOR):

A planta de gás basicamente gera energia através da queima do gás combustível. O gás combustível é utilizado para outras finalidades em uma refinaria, como produção de hidrogênio para ser utilizado em processo de dessulfurização. Todavia, nesta abordagem, serão considerados produtos que não os derivados diretos do petróleo (chamados Utilidades) como Hidrogênio, Enxofre, Vapor e etc.

- Craqueamento Catalítico (FCC):

No craqueamento catalítico, a carga entra em contato com um catalisador em uma temperatura elevada, resultando na ruptura das cadeias moleculares.

Na FCC, podem ser produzidos, a partir do gasóleo da carga:

- Gás combustível;
- Gás liquefeito do petróleo (GLP);
- Nafta de Craqueamento Catalítico;
- Óleo Leve de Reciclo;
- Óleo Pesado de Reciclo (totalmente reciclado);
- Óleo Clarificado.

- Reforma Catalítica (REFORMA):

A Reforma Catalítica consiste no rearranjo da estrutura molecular dos hidrocarbonetos contidos em certas frações de petróleo, com o intuito de valorizá-las.

Na Reforma, podem ser produzidos, dependendo da faixa de ebulição da nafta da carga, uma nafta de alto índice de octanagem (reformado), para ser utilizada na produção de gasolina, ou um composto rico em hidrocarbonetos aromáticos nobres (Benzeno, Tolueno e Xilenos), para serem posteriormente isolados. Neste processo também são produzidas pequenas quantidades de gás combustível e GLP.

- Desasfaltação a Propano (UDASF);

Este processo tem por objetivo extrair, através da ação do propano líquido em alta pressão, um gasóleo de alta viscosidade contido no resíduo de vácuo. Como subproduto da extração, obtém-se o resíduo asfáltico que, conforme o tipo de resíduo de vácuo processado e a severidade operacional, pode ser enquadrado como asfalto ou óleo combustível ultraviscoso.

- Hidrotratamento de Querosene (HDTQ) e Diesel (HDTD):

O Hidrotratamento é um processo de refino com hidrogênio, cuja finalidade é estabilizar um determinado corte de petróleo ou eliminar compostos indesejáveis dos mesmos. O hidrotratamento pode ser empregado em todos os cortes de petróleo.

- Fracionamento de Gás Liquefeito do Petróleo (FGLP).

Este processo tem como objetivo separar o Propano (C3) e o Butano (C4) contidos no GLP.

2.3.1.4. Blending (Mistura de Produtos)

A mistura de produtos, ou *blending*, ocorre principalmente para enquadrar um determinado produto em seus limites de especificação, para que este possa ser vendido.

O equipamento especialmente usado para se misturar correntes é o misturador, ou *mixer*, que transforma as várias correntes de entrada em uma corrente de saída homogênea. Mas, freqüentemente, as misturas são realizadas na refinaria nos próprios tanques e esferas de destino dos produtos e, às vezes, até na porta de carga de algumas unidades de processo (p.ex: Dois tanques de cru enviam ao mesmo tempo para a unidade de destilação para favorecer um determinado corte, ou ajustar a densidade da carga). Dificilmente as misturas são feitas no duto de entrega, por ser esta uma medida muito arriscada, pois pode arruinar as propriedades do produto durante sua entrega.

Como apresentado em (Simão et al, 2003), existem vários modelos para calcular as propriedades resultantes de uma mistura. Nesta dissertação, as únicas propriedades acompanhadas são: densidade e teor de enxofre.

A densidade é aditiva em base volumétrica, então a equação para calcular a densidade resultante de uma mistura é:

$$d_m = \frac{\sum V_i * d_i}{\sum V_i} \quad (2.1)$$

Onde d_m é a densidade da mistura, V_i e d_i são, respectivamente, o volume e a densidade de cada produto i presente na mistura.

Já o teor de enxofre é aditivo em base mássica, ou seja:

$$S_m = \frac{\sum V_i * d_i * S_i}{\sum V_i * d_i} \quad (2.2)$$

Onde S_m e S_i representam o teor de enxofre na mistura e em cada produto, respectivamente.

2.3.1.5. Entrega de Produtos

A entrega de produtos, ou distribuição, é a parte do processo onde os produtos deixam a refinaria e vão para seus consumidores. A entrega é, muito freqüentemente, feita por meio de dutos, que vão até terminais portuários ou até plantas petroquímicas e outras refinarias, mas também pode ser feita por meio de terminais de carga de caminhões-tanque.

2.3.2. O Problema da Programação da Produção.

Pode-se identificar, na programação da produção, os seguintes tipos de atividades, ou tarefas, a serem programadas:

- Definição de Campanha e Vazão de Carga de uma Unidade:

A campanha de uma unidade define como esta unidade irá operar favorecendo a produção de determinados produtos durante um intervalo de tempo. A vazão de carga define a quantidade recebida e processada por uma unidade de processo ao longo de um determinado tempo.

Normalmente, para se otimizar o planejamento da refinaria e então poder definir quais petróleos comprar e quais produtos vender visando o máximo de lucro possível, devem ser levados em conta alguns aspectos: a capacidade de estocagem da planta para cada produto (cru, intermediário e final), as capacidades de produção das unidades de processo (volume processado por intervalo de tempo), os rendimentos e propriedades dos produtos de saída destas unidades em função do petróleo utilizado, dentre outros.

Fica claro que, para que as metas do planejamento sejam viabilizadas na programação, este deve levar em conta as campanhas e vazões das unidades que foram utilizadas para se montar o plano de produção. Por isso estas atividades são consideradas como parte dos dados de entrada para o modelo apresentado neste trabalho.

- Definição do Modo de Operação do Divisor:

Esta atividade define como o divisor irá dividir as correntes que chegam até ele, a partir de um determinado momento.

- Recebimento e Envio de Itens:

Quando o petróleo chega pelos dutos na refinaria, deve ser alocado em tanques que mais tarde serão utilizados para dar carga na unidade de destilação (UDA). Da mesma forma, quando os produtos finais estão especificados (ou certificados), devem ser enviados para dutos para

serem entregues aos clientes. É chamada de *item* a programação para o recebimento na refinaria (ou envio da refinaria) de uma determinada quantidade de um determinado produto em um determinado instante. Os itens representam a interface externa da refinaria (compras e vendas).

- Transferências entre os equipamentos:

Esta atividade é a mais freqüente numa refinaria. Durante todo o horizonte de programação existe algum produto sendo transferido de um equipamento para o outro. Podemos classificar as transferências como:

- Entre Dutos e Tanques (Envio e Recebimento de Itens, explicado acima);
- Entre Tanques/Esferas e Unidades/Divisores/Misturadores;
- Entre Unidades/Divisores/Misturadores;
- Entre Tanques/Esferas;

- Preparação e Circulação de Produtos em tanques:

A preparação e circulação são atividades que ocorrem em armazenamentos, normalmente tanques, e que durante o período em que ocorrem, o tanque não pode enviar ou receber produtos. A circulação é utilizada para tornar mais homogêneo o produto do tanque, e não será considerada nesta dissertação.

Já a preparação é normalmente o tempo durante o qual um petróleo descansa para que se possa separar o produto da salmoura, e assim poder retirá-la. Neste trabalho estão sendo considerados tempos de preparação para produtos acabados, com o intuito de representar o tempo gasto com a análise de um produto final antes de poder enviá-lo.

- Manutenção de equipamentos:

Esta atividade serve como restrição ao uso de determinados equipamentos durante determinados períodos. Sua ocorrência deve ser conhecida *a priori*, ou seja, antes de se programar a produção, pois determina quais equipamentos podem ser utilizados. Note que isto não significa que a manutenção deva ser preventiva e com hora marcada para ocorrer. Apenas que sua existência deve ser um dado de entrada

para o sistema, que tentará gerar uma programação válida respeitando tais restrições.