USO DE SIMULAÇÃO PARA AVALIAR TANCAGEM DE REFINARIAS: BUSCA POR INDICADORES REPRESENTATIVOS

Daniel Barry Vieira Fuller
Petrobras – Petróleo Brasileiro S.A.
Av. Nilo Peçanha, 151, 7º andar, Rio de Janeiro - RJ
fullerdb@petrobras.com.br

Claudio Duarte Pinto Limoeiro
Petrobras – Petróleo Brasileiro S.A.
Av. Nilo Peçanha, 151, 7º andar, Rio de Janeiro - RJ
claudiolimoeiro@petrobras.com.br

Guilherme de Aquino Barbosa
Petrobras – Petróleo Brasileiro S.A.
Setor das Autarquias Norte, s/n, Quadra 1, Bloco D, Brasília - DF.
gaquibar@petrobras.com.br

Celso Fernandes Araujo Filho
Petrobras – Petróleo Brasileiro S.A.
Av. Nilo Peçanha, 151, 7º andar, Rio de Janeiro - RJ
celsoaf@petrobras.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta o uso de modelos de simulação para avaliar investimentos complementares, particularmente em tanques, em refinarias. A ênfase neste texto foi dada ao conjunto das mais significativas métricas usadas para subsidiar estudos de planejamento de capacidade de tanques e como analisá-las conjuntamente. O processo de desenvolvimento destes estudos tem por objetivo encontrar pelo menos uma configuração da tancagem e seus acessórios capaz de produzir resultados adequados para os níveis de operação e serviço esperados em função dos investimentos planejados.

PALAVRAS-CHAVE. Tanques. Refinaria de petróleo. Simulação. Área principal: Petróleo e Gás.

ABSTRACT

This paper presents the use of simulation models to evaluate complementary investments, especially in tanks, in refineries. The emphasis is on the most significant metrics used to support capacity planning studies and how to jointly analyze them. These studies' development process' goal is to find at least one tank and accessories setup which is able to produce adequate results for the operation and service levels expected to be obtained from the planned investments.

KEYWORDS. Tanks. Oil Refinery. Simulation. Main area: Oil and Gas.

1. Introdução

A Petrobras tem realizado diversos investimentos em suas refinarias e terminais para instalar novas unidades ou eliminar gargalos operacionais em instalações que precisam, eventualmente, ajustar sua produção para atender aumentos de mercados e determinações legais relacionadas a questões ambientais.

Os itens mais importantes destes investimentos estão na tecnologia de processo, normalmente de ponta, ou em aumentos da capacidade de produção. Todavia, outros elementos são absolutamente necessários para que essas empreitadas sejam factíveis.

Essa infra-estrutura adicional é geralmente associada a elementos facilitadores da logística, como tanques e bombas, ou em ações voltadas para qualidade. Todavia, esses investimentos são vistos como geradores de custos que podem atrapalhar a viabilidade econômica do projeto principal e, deste modo, procura-se realizar apenas o mínimo necessário desses investimentos para viabilizar tecnicamente o projeto principal.

Para se chegar a uma conclusão sobre a viabilidade técnica do investimento, dado um determinado patamar de recursos adicionais, é necessário estudar cenários variando a capacidade destes recursos e estimando métricas que sirvam de subsídio ao diagnóstico final sobre o nível operacional ou de serviço que deverá ser alcançado com todos os investimentos programados.

Neste texto, focalizam-se principalmente os investimentos em tanques de refinaria, os quais podem acarretar altos custos e são muito correlacionados à efetividade das atividades de logística (Chan, 2006). Serão apresentados e discutidos os indicadores ou métricas e o processo que, utilizando simulação, apóia as decisões sobre quais e quanto dos investimentos complementares aos projetos deverão ser implantados.

Nos itens seguintes são tratados: os objetivos desses estudos na seção 2 e as questões conceituais e formas de operar tanques nas seções 3 e 4. As métricas e como elas são utilizadas na avaliação de tanques são tratadas nas seções 5 e 6. Na seção 7, apresentamos a estrutura básica para um modelo de simulação de tancagem de refinarias. As seções 8 e 9 tratam de cenários estudados e da análise dos resultados. Por fim, na seção 10, apresentam-se os comentários gerais.

2. Objetivos desse tipo de estudo

A avaliação de tancagem de uma refinaria está plenamente relacionada ao comportamento dos níveis de operação e de serviço. Esses indicadores podem ser caracterizados como:

- O *nível de operação* é extremamente significativo quando se deseja responder a seguinte pergunta: quanto é possível manter a produção das unidades operacionais com o esquema de suprimento proposto; ou seja, existirá matéria-prima suficiente para o sistema produtivo funcionar adequadamente? Seu valor é expresso em percentuais. Os níveis aceitáveis devem ser pelo menos 95% e, a partir daí, torna-se cada vez mais difícil melhorar o valor, pois se tratam de valores com tendências assintóticas.
- O *nível de serviço* é voltado para atender ao mercado consumidor. Pode ser medido sob dois aspectos: um primeiro onde se mede quanto do mercado da refinaria será possível atender, mesmo que com algum atraso, e um segundo que considera atendimentos sem atraso; nesse caso, o índice pode ser chamado nível de pronto serviço. Como no caso anterior, é expresso em valor percentual e também possui viés assintótico.

Há uma relação esperada entre esses dois indicadores e o nível de pronto serviço, segundo a qual, em sistemas equilibrados, observa-se a seguinte tendência:

Nível de operação $\geq$ *Nível de serviço* $\geq$ *Nível de pronto serviço.*

Os estudos visam, sobretudo, saber qual a influência dos investimentos adicionais, especialmente tanques, sobre esses níveis calculados.

Com a definição desses indicadores fundamentais, a questão principal destes estudos pode ser resumida da seguinte maneira:

Qual é a quantidade de tanques e recursos adicionais associados necessários e suficientes para que a refinaria funcione com níveis operacionais e de serviço adequados para atender às expectativas dos investimentos principais?

Cabe observar que, para produzir a resposta final a essa questão, os resultados dos cenários processados precisam ser submetidos a uma discussão complementar sobre as alternativas de investimentos viáveis e o nível de risco que se está disposto a assumir.

3. Visão conceitual do problema

Conceitualmente, a representação do armazenamento e da movimentação de petróleo e seus derivados no universo de uma refinaria pode ser construída a partir de uma visão onde é considerada a existência de um conjunto de fluxos de líquidos com origens e destinos finais externos. Esses fluxos participam de operações de processos físicos ou químicos que sempre respeitam os balanços de volume durante a travessia das instalações da refinaria. Esse sistema, a refinaria, tem por finalidade suprir o mercado de produtos essenciais ao desenvolvimento econômico de sua área de influência e, por esta razão, as demandas por esses derivados "puxam" o funcionamento do sistema, conforme as necessidades da época. Pelo outro lado, o consumo da refinaria pode ser empurrado, pois seus insumos, dos quais o principal é o petróleo, chegam de lugares às vezes distantes, dependendo de uma boa logística, e há necessidade de se manter suas unidades em constante funcionamento.

Neste ponto, tem-se um sistema aberto que transporta e transforma fluxos respeitando as leis da estequiometria, estando estes fluxos de entrada e saída sujeitos a efeitos aleatórios externos ao sistema. Quanto aos processos internos, é importante assinalar que estes não são estáticos, pois existem alternativas e, às vezes, concorrência por recursos. Essas situações precisam ser seqüenciadas conforme as boas práticas de operação para atender requisitos das demandas dos produtos finais ou, ainda, para superar problemas de falta de matéria-prima.

A refinaria precisa, para funcionar, que os fluxos de produtos possam ser armazenados em alguns pontos de sua cadeia para suportar as variações e as contingências inerentes ao sistema, tanto de origem interna quanto externa. Esses pontos são *os parques de tanques*, os recursos que desempenham as principais funções reguladoras dos fluxos do sistema, tendo sua capacidade projetada a partir de componentes de volume (Riach et al, 1970), dos quais seguem em destaque os que mais interessam ao processo logístico da refinaria (Figura 1):

- Volume para o estoque do ciclo de trabalho, que visa atender à operação regular da refinaria onde existe determinação ou programação perfeita.
- Volume para o estoque de segurança, que visa atender às variações das demandas e às descontinuidades de produção de alguns produtos provocadas pela seqüência das campanhas de operação.
- Volume para servir de espaço de segurança, que visa atender aos eventuais adiantamentos de recebimentos de produtos.

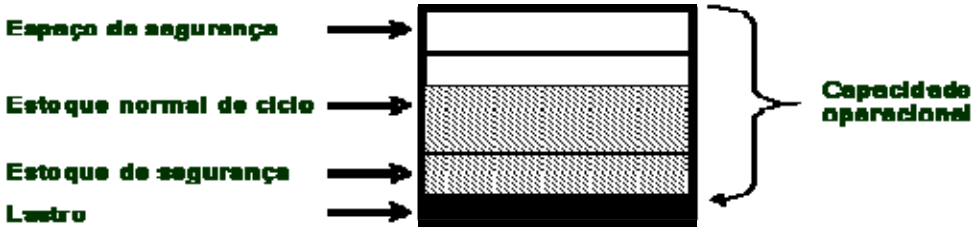

Figura 1. Tanque – componentes de volume.

Após ter destacadas as finalidades dos parques de tanques, é possível, de forma abstrata e conveniente, ver uma refinaria como sendo um conjunto de parques de tanques que recebem, de forma regular ou irregular, fluxos de produtos para armazená-los e os enviar quando os processos da refinaria e demandas externas assim necessitarem. Desta maneira, o modelo lógico deverá considerar a operação deste sistema como uma coleção ordenada e integrada de eventos de

entradas e saídas dos tanques, que podem ser de fontes externas, diretamente de outros tanques ou através de unidades de processo.

4. Operação de tanques

Após ser destacada no item anterior a importância dos tanques na manutenção da continuidade operacional da refinaria, será descrito neste item como isso ocorre.

Existem duas formas básicas de operar tanques. A mais completa aborda todo o ciclo de trabalho de um tanque desde o começo de seu enchimento até o seu total esgotamento. Na segunda, mais simplificada, o tanque pode receber e enviar ao mesmo tempo, conforme as necessidades das operações; este último modo é comumente chamado de operação em pulmão.

A operação por ciclo completo (ver Figura 3) pode, de forma genérica, ser detalhada como:

- Fase de Enchimento: realizada com vazões que dependem da origem do produto. O enchimento pode ser de uma vez só ou em etapas.
- Fase de Preparo: começa quando o tanque fica cheio e tem por objetivo tornar o produto apto a ser utilizado. Esta fase pode ser composta de várias operações, tais como: agitação, repouso, retirada de amostras e exames laboratoriais para garantir a qualidade. Todavia, em termos de logística, significa um tempo que o tanque está cheio, mas impedido de operar.
- Fase de Consumo: depois de terminada a fase de preparo, o tanque poderá expedir produto conforme as necessidades com vazão dependente do destino e da disponibilidade dos recursos.

A operação em pulmão é usada, sobretudo, para amortecer as variabilidades e as alternativas relacionadas às campanhas das unidades de processo, ou seja, são muito importantes para as ações de otimização operacional da refinaria. Todavia, os investimentos em tanques para esta função são particularmente evitados.

Cabe observar que um tanque de ciclo faz apenas uma operação de cada vez. Os tanques pulmão podem receber e enviar ao mesmo tempo e quase nunca têm fase de preparo.

De forma esquemática e genérica, para qualquer parque e produto, conforme mostra a Figura 2, devem-se representar as operações envolvendo os tanques no modelo, para garantir funcionamento aderente à realidade.

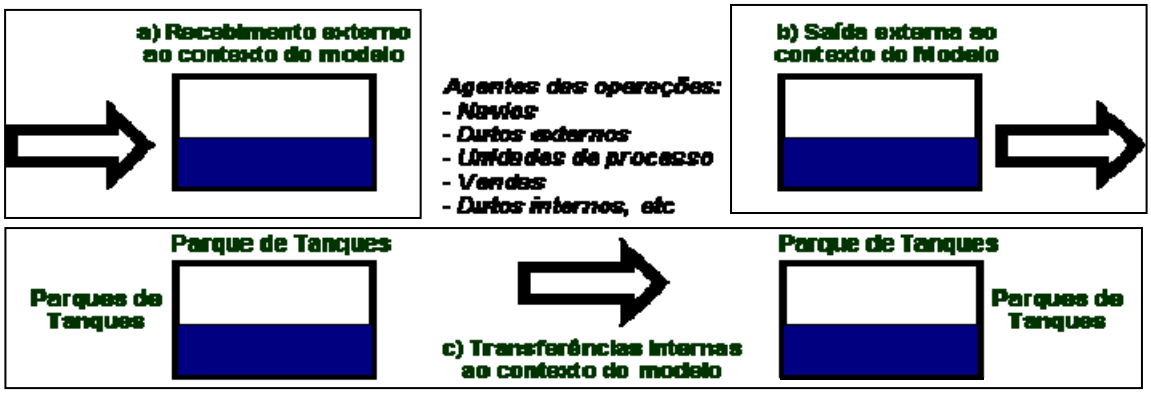

Figura 2 – Tipos genéricos de operações

A utilização dos tanques nos processos da refinaria pode ser definida como um relacionamento estrutural onde duas camadas são visualizadas, a saber:

- Parque de tanques (camada superior), que são conjuntos de tanques com as mesmas funções e regras reunidos no mesmo local. Pertencem a esta camada restrições do tipo: quantas saídas e entradas podem ser realizadas ao mesmo tempo e utilização dos recursos existentes, tais como dutos e bombas. Essa forma de limitação pode acarretar, por exemplo, o atendimento de somente um mercado de cada vez, mesmo que, em um dado momento, exista mais que um tanque com produto acabado.

- Os tanques individualizados (camada inferior), que seguem as regras e limitações do parque a que pertencem, mas possuem atributos e estados próprios que são considerados na operação; por exemplo: o nível de produto no tanque e o seu estado operacional – enchendo, esvaziando etc.

5. Métricas básicas usadas para avaliar tanques

Um modelo de simulação estocástica, representando o funcionamento de uma refinaria, ou parte dela, é uma ferramenta adequada para gerar as informações necessárias aos estudos de capacidade da tancagem. Dados devem ser apurados continuamente, de hora em hora, sobre: nível do tanque, espaço livre existente, estado operacional e outras informações que servirão como a matéria-prima para compor resultados, formar indicadores e tirar conclusões sobre os tanques. Esses dados são estocásticos e possuem, associados a eles, desvios padrões. Os resultados também podem servir para guiar a definição de novos cenários de simulação através dos quais se pesquisa sobre a influência das possíveis alternativas operacionais dos tanques nos indicadores fundamentais de avaliação do sistema estudado (níveis de operação e serviço).

Os dados ou métricas mais básicas ou primárias são as seguintes:

a) Nível e espaço livre do tanque.
b) Estado do tanque: enchendo, esvaziando, em preparo e vazio.
c) Estoque médio de produto no parque de tanques. O desvio padrão deste resultado é, por si só, uma informação importante para a análise do sistema.
d) Tempo de ciclo do tanque: representa o tempo entre o tanque começar a encher até ser completamente esvaziado. É expresso pela média de tempo de duração de cada ciclo por parque de tanque (ver Figura 3).

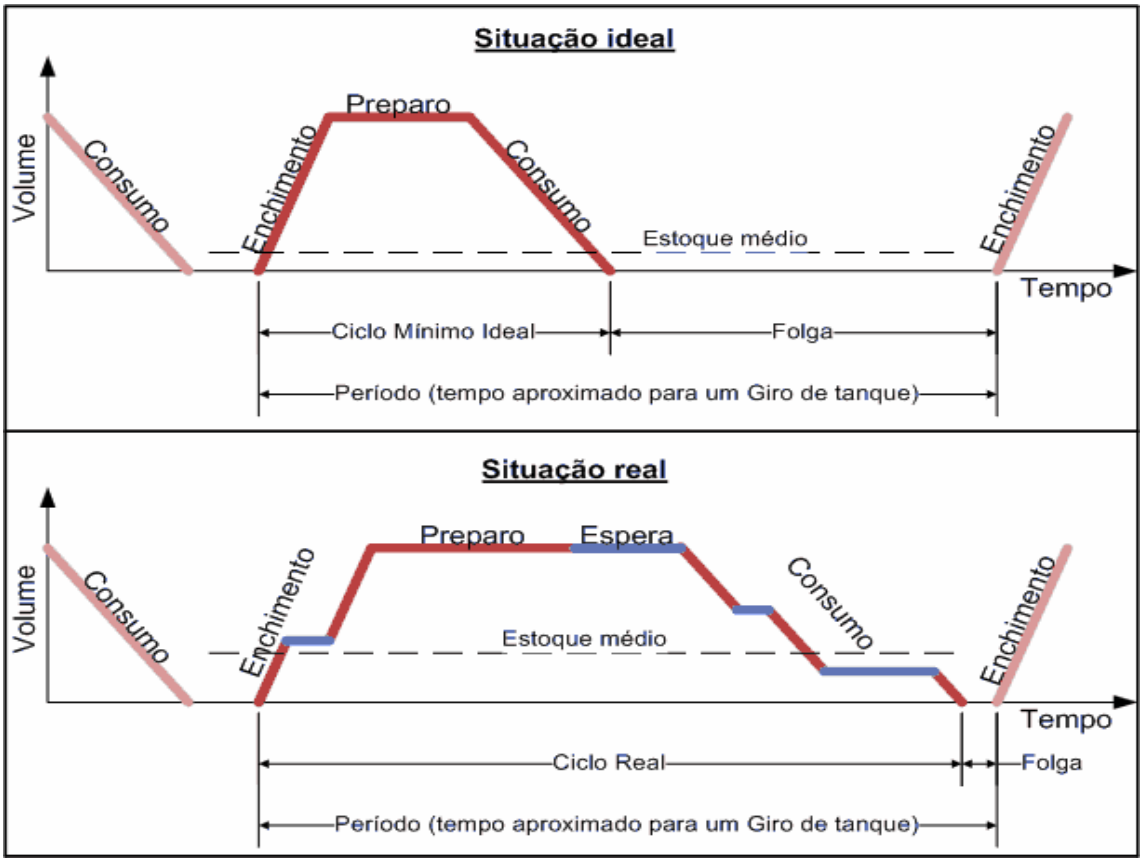

Figura 3 – Etapas de ciclos de tanques

e) Percentual do tempo dos tanques de um parque em operação: indica o percentual de tempo em que o tanque está operando; ou seja, enviando ou recebendo produto.
f) Período: Mede o tempo entre dois enchimentos de um tanque. Tem relação estrita com o giro, sendo inversamente proporcional a ele, pois tende ao tempo necessário para um giro de um tanque em um parque (ver Figura 3).
g) Folga: é a diferença entre o período e o ciclo; ou seja, o tempo em que o tanque fica vazio entre dois ciclos (ver Figura 3).
h) Estoque médio de produto certificado e pronto para venda ou outra movimentação.
i) Giro da tancagem: representa o volume movimentado do produto dividido pelo volume do parque de tanques, dividido pelo número de tanques do parque. É expresso, para cada parque de tanques, em giros ao mês por tanque.
j) Giro do estoque: representa o volume movimentado do produto dividido pelo estoque médio do produto. É expresso, para cada parque de tanques, em volume ao mês por tanque.
k) Ocupação crítica da tancagem: Pode-se definir um patamar de ocupação para a tancagem que seja considerado crítico e calcular qual o percentual de tempo que este parque de tanques fica acima desse nível de ocupação.
l) Sem estoque pronto para venda: Pode-se medir o percentual do tempo que uma tancagem voltada para vendas ao mercado fica sem produto pronto.

6. Análise dos resultados da simulação

Para a análise das questões relacionadas à tancagem, os problemas podem ser classificados em quatro tipos:

- **Superdimensionamento**, em que se observa que o sistema cumpre todas as suas funções (níveis de operação e serviço atendidos) sem utilizar plenamente os recursos instalados;
- **Subdimensionamento**, em que se observa que os recursos instalados são insuficientes para o perfeito funcionamento do sistema (níveis de operação e serviço não atendidos), acarretando risco de paradas de produção;
- **Indisponibilidade**, em que se observa que o sistema tem dificuldade para cumprir suas funções devido à falta de disponibilidade dos recursos instalados ou deficiências nos métodos adotados;
- **Desequilíbrio operacional**, em que se observam esperas causadas por desbalanceamento e falta de seqüência entre as diversas operações no processamento do sistema.

O processo de análise da tancagem é constituído, sobretudo, do exame dos dados fornecidos pelo modelo de simulação, individualmente ou em conjunto. Deste modo, as avaliações pelas métricas apresentadas são as normalmente executadas nos estudos reais realizados e, por isso, recomendadas.

- Estoque médio, se alto, indica baixa capacidade de absorver volumes inesperados e, se o desvio padrão relativo for alto, há maiores incertezas para programar esses volumes de crise. Isso pode indicar s**ubdimensionamento** ou **desequilíbrio operacional**. Se o estoque médio for baixo, em relação à capacidade do parque, indica **superdimensionamento** ou, talvez, **desequilíbrio operacional**. O estoque médio também pode ser expresso como percentual da capacidade de tancagem; facilitando algumas comparações com outras métricas como a ocupação crítica da tancagem.
- Ocupação crítica da tancagem alta pode indicar **subdimensionamento** se houver queda nos níveis de operação e serviço. Principalmente se for acompanhada por um estoque médio também alto. Todavia, se a ocupação crítica alta implicar melhor nível de pronto serviço, provavelmente deve ser provocada pelo forte componente de "puxada" do modelo pelo mercado e é possível que haja uma redução do estoque na tancagem dos produtos intermediários a favor do aumento nos produtos finais.
- Percentual de tempo de operação (enchendo e consumindo) alto significa que a função da tancagem é mais reguladora do que armazenadora. Isto é mais característico de produtos

intermediários e pode influenciar a avaliação de outros resultados, como giro de tancagem e folga, por exemplo.

- O tempo de ciclo é um dado que pode ser usado de diversas formas:
  a) Comparando-o com seu mínimo teórico e ideal (ver Figura 3), pode-se avaliar atrasos, conseqüências de desequilíbrios operacionais e indisponibilidades;
  b) Comparando-o com a folga, pode-se identificar **superdimensionamento**;
  c) Teoricamente, o ciclo deve tender ao ciclo mínimo ideal conforme se estresse a tancagem. Se isso não ocorrer, pode haver algum gargalo no sistema, o que indica **desequilíbrio operacional**.
- Folga pequena pode representar tancagem estressada, com risco operacional, e sugere s**ubdimensionamento** ou **desequilíbrio operacional**. A folga também pode ser expressa em percentual do período do tanque.
- O giro da tancagem alto costuma ser um indício de que a tancagem está **subdimensionada**, porém é necessário avaliar sua relação com o ciclo para que se possa ter uma melhor conclusão, uma vez que, havendo folga suficiente, pode ser possível operar o sistema mesmo nessas condições. Se o giro for baixo, a observação do estoque médio e do período pode indicar se existe **superdimensionamento**.
- O estoque de produto pronto baixo em relação ao estoque médio indica **desequilíbrio operacional** e talvez i**ndisponibilidade**. Se o produto for destinado à venda ao mercado, poderá haver risco de atrasos na entrega de produtos aos clientes, o que pode ser confirmado por um nível de pronto atendimento baixo.
- O giro do estoque baixo serve para avaliar os possíveis impactos de programações comerciais ou mesmo operacionais na ocupação da tancagem. Pode ser um indício de **desequilíbrio operacional**.

Além dessas análises referentes à tancagem, não se deve esquecer que é fundamental sempre verificar, em todos os cenários, os resultados apurados para os níveis operacionais e de serviço, pois são as medidas essenciais da realização dos objetivos do sistema estudado.

7. Estrutura e construção do modelo de simulação

Um modelo de simulação, construído para obter os resultados necessários ao processo de análise de tancagem, tem que levar em conta o entendimento conceitual-lógico do problema (Balci e Ormsby, 2007). Deve-se delimitar o escopo a ser representado pelo modelo e, então, levantar informações como: as capacidades dos tanques, a definição dos parques de tanques, as operações de transferência e suas vazões, os mercados esperados e os tempos de preparo; em suma, todas as informações sobre as operações que envolvam volumes. Lembrando que os eventos são parametrizados tendo uma hora como unidade de tempo e que se considera sempre a seqüência dos estados de cada tanque.

Após a obtenção das informações necessárias sobre as operações de movimentação, parques de tanques e mercados, é preciso realizar duas etapas fundamentais para se chegar ao esboço do modelo que se pretende construir: a primeira é fechar o balanço volumétrico do modelo e a segunda é definir as distribuições de probabilidades.

Um princípio básico do funcionamento de uma refinaria é a regra do balanço volumétrico, segundo a qual os volumes recebidos pela refinaria devem equivaler aos expedidos (Fuller, 2009). Para se ter a garantia que este princípio esteja representado no modelo, é recomendável utilizar previamente uma ferramenta de programação matemática para auxiliar o fechamento desse balanço volumétrico (Fuller e Ferreira Filho, 2008).

Quanto aos processos aleatórios, é importante considerar sua relevância na análise de tancagem por simulação, pois no processo de construção do modelo utilizam-se como entrada, sempre, informações de um processo de análise estatística. Esta análise é elaborada nas seguintes etapas: coleta de dados, apuração das estatísticas e definição das distribuições de probabilidades. As principais variabilidades são relacionadas à chegada de matéria-prima e à expedição de produtos para o mercado; ou seja, eventos externos ao domínio da refinaria. Outros, como as

falhas aleatórias em equipamentos e problemas no tempo de preparo dos produtos, também são importantes.

É importante lembrar que toda implementação deve ter o cuidado de não criar situações ou aceitar distribuições que desrespeitem o balanço volumétrico do contexto modelado. Este tipo de modelagem já foi utilizado outras vezes para produzir os dados necessários para a análise de tancagem (ver Limoeiro et al, 2008, por exemplo). O fluxograma da simulação (figura 4) representa de forma genérica um modelo com a finalidade de análise de tancagem.

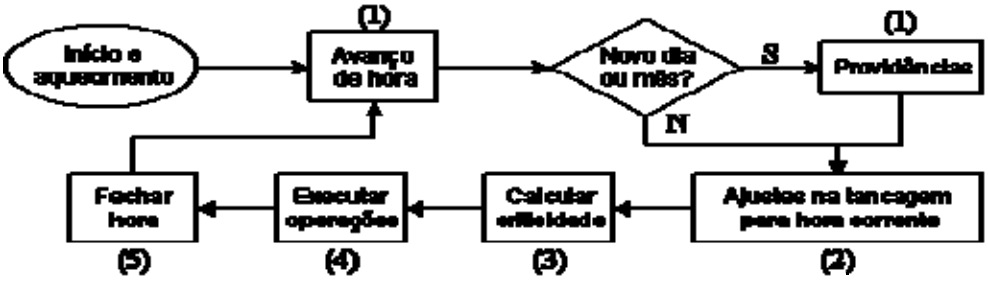

Figura 4: Fluxo da simulação

Na Figura 4, temos os passos do fluxograma, que são: avanço de hora e providências conforme mudança de dia e mês (1); conferir e ajustar os estados dos tanques (2); estabelecer, para cada operação, índices que definem quão críticas estão as operações naquele momento (priorizam a execução das operações) (3); efetivação das operações (4); e registro de dados com fechamento da hora corrente para ir à próxima hora (5).

8. Processamento de cenários e busca dos resultados

A definição de cenários realizada após o desenvolvimento e validação do modelo objetiva, neste caso, reproduzir as alternativas de investimento em recursos focados em tancagem que podem ser selecionados para o escopo real estudado. Os recursos sensibilizados podem ser diversos, porém, na situação apresentada como exemplo no item 9, serão inspecionados os seguintes: quantidade de tanques, tempo de certificação e demanda dos produtos finais.

Deve-se lembrar que o processamento propriamente dito de cenários para um modelo desta natureza – e, normalmente, de grande porte – constitui-se, na verdade, de um processo de busca para encontrar cenários que produzam níveis de operação e serviço aceitáveis dentro do contexto que está sendo estudado. A forma de executar esse processo é realizá-la através de uma seqüência etapa a etapa, onde cada cenário é definido a partir da análise dos resultados dos anteriores com base nas avaliações recomendadas na seção 6. O processo continua até que se encontre pelo menos um cenário satisfatório.

9. Alguns resultados

Os resultados a seguir apresentados referem-se a um estudo sobre modificações e gargalos na tancagem de diesel de uma refinaria. É considerada a produção de duas especificações de diesel, aqui chamados; Diesel A e Diesel B, sendo o Diesel A o que possui maior demanda de atendimento pela refinaria. O produto “Diesel int”, que aparece em um dos indicadores, refere-se a um diesel intermediário que pode ser usado na produção de ambos dieseis finais, e sua tancagem não é objeto deste estudo. São consideradas também variações sazonais na demanda dos dieseis, e o horizonte da simulação foi um ano com 30 replicações.

Os cenários apresentados estão divididos em dois grupos. No primeiro grupo, foram sendo variados os números de tanques dos Dieseis A e B, partindo respectivamente de 2 e 2 tanques e progressivamente aumentando. No segundo grupo, tomando como base os resultados do cenário com 4 e 2 tanques, foram feitas análise de sensibilidade ao tempo de certificação da tancagem final e ao tamanho total do mercado a ser atendido.

Tabela 1: Resultados do 1º grupo de cenários

			2 2	3 2	4 2	5 2	4 3
Nível de operação	Destilação		77,7%	94,8%	98,4%	98,5%	98,4%
Nível de serviço	Diesel A		60,6%	90,6%	99,1%	99,5%	99,0%
	Diesel B		85,3%	97,1%	97,9%	97,5%	99,0%
Nível de pronto serviço	Diesel A		4,5%	14,0%	60,3%	75,4%	59,4%
	Diesel B		41,1%	61,2%	62,5%	62,7%	80,5%
Estoque médio absoluto e em percentual	Diesel int	m³	24.047	18.660	12.320	10.833	12.375
			94,3%	73,2%	48,3%	42,5%	48,5%
	Diesel A	m³	21.710	32.304	41.402	51.933	41.447
			70,0%	69,5%	66,8%	67,0%	66,8%
	Diesel B	m³	14.211	17.289	17.608	17.544	27.287
			45,8%	55,8%	56,8%	56,6%	58,7%
Giro de tancagem	Diesel A	giro/ tq/mês	6,97	6,94	5,66	4,55	5,65
	Diesel B		3,88	4,36	4,34	4,35	2,89
Ocupação crítica	Diesel A		28,2%	23,4%	14,6%	18,2%	14,8%
	Diesel B		11,6%	15,4%	17,0%	16,6%	16,7%
Sem estoque venda	Diesel A		58,3%	35,0%	13,2%	8,9%	13,3%
	Diesel B		43,0%	24,5%	23,9%	23,5%	13,3%
Estoque pronto	Diesel A	m³	3.280	6.344	13.917	23.931	13.674
	Diesel B	m³	5.975	8.769	9.231	9.189	18.312
Ciclo do tanque	Diesel A	h	108	107	124	148	125
	Diesel B	h	143	148	149	149	214
Período do tanque	Diesel A	h	110	110	133	163	134
	Diesel B	h	198	173	172	174	254
Indicador de folga por ciclo	Diesel A	h	1,7	3,4	8,7	15,0	8,7
	Diesel B	h	55,0	24,3	23,4	25,2	39,7

Comentários a respeito da Tabela 1:

- Nível operacional: começou muito ruim (2 e 2 tanques) e, com o aumento da tancagem do Diesel A, foi melhorando até atingir nível muito bom, acima de 98%, com 4 e 2 tanques.
- Níveis de serviço: melhoraram juntamente com o nível operacional. Entretanto, podemos afirmar que a tancagem de Diesel A realmente é a que estava insuficiente, pois os resultados melhoraram até atingir um patamar muito bom sem que houvesse aumento na tancagem de Diesel B.
- Níveis de pronto serviço: da mesma forma, seguiu os anteriores. Todavia, a configuração com 4 e 2 tanques mostra que, nesse estágio, ainda não foi atingido um nível realmente bom. Isso fica demonstrado quando se analisa as configurações “5 2” e “4 3”, que produzem ainda melhoras significativas. Cabe ressaltar que o desejável seria atingir valores semelhantes aos dos outros níveis, porém isso acarretaria um número excessivo de tanques e há a possibilidade que se contorne os atrasos através de políticas comerciais.
- É importante ressaltar que as perdas nos níveis operacional e de serviço são mais pesadas que as de pronto serviço, onde a perda é apenas um adiamento da entrega dos produtos aos clientes, ao invés de a perda do atendimento propriamente dito.
- Estoque médio: o aumento dos estoques médios absolutos dos dieseis finais com o aumento da tancagem seguiu o comportamento dos níveis de operação e de serviço. Todavia, a partir de um número de tanques, somente o nível de pronto serviço continuou aumentando conjuntamente com o aumento do estoque médio. Interessante notar a queda do estoque médio, tanto absoluto quanto relativo, do diesel intermediário com o aumento da tancagem de finais. Isso pode indicar que, existindo mais espaço para armazenar produto final, e com o mercado demandando produto continuamente, a produção seja puxada com mais

intensidade; provavelmente devido a um excesso de capacidade de formação de produto final.

- Giro de tancagem: para produtos em cenários com giros semelhantes, os resultados são melhores para maiores folgas por ciclo.
- Ocupação crítica da tancagem: para os cenários com menos tanques e com níveis ruins de operação e serviço, a ocupação crítica é alta, confirmando subdimensionamento da tancagem. Nos cenários com mais tanques, o problema do subdimensionamento fica muito menor, todavia ocorre outro fenômeno: uma subida da ocupação crítica, mas, neste caso, é acompanhado de uma melhoria do nível de pronto serviço, o que deve justificar pela transferência do estoque de produtos intermediários para os produtos finais provocada pela forte componente de "puxada" do modelo pelo mercado.
- Estoque pronto: como esperado, tem uma relação direta com o nível de pronto serviço e uma relação inversa com a falta de estoque para vendas.
- Ciclo, período e folga por ciclo: estas variáveis ajudam a medir a folga operacional e as limitações do ciclo operacional das tancagens. Conforme esperado, ciclos e folgas menores indicam maiores limitações no uso da tancagem. Períodos maiores em relação ao ciclo podem indicar superdimensionamento. A estabilização do ciclo e do período, mesmo com aumento do número de tanques, indica folga na tancagem.

O cenário "4 2" foi escolhido como base para a continuação deste estudo, pois atingiu níveis satisfatórios de operação e serviço ao mesmo tempo em que se observa que subseqüentes aumentos de tancagem não trazem mais benefícios nesse sentido. O principal benefício da adição de ainda mais tanques – melhores níveis de pronto serviço – provavelmente não justificaria o custo da construção da tancagem extra, assim como, conforme já ressaltado, este indicador poderia ser contornado através de políticas comerciais.

Tabela 2: Resultados do 2º grupo de cenários

			4 2	+8h cert	+16h cert	+15% merc	+30% merc	+45% merc
Nível de operação	Destilação		98,4%	98,3%	98,1%	97,8%	93,5%	79,7%
Nível de serviço	Diesel A		99,1%	99,0%	98,0%	98,2%	91,8%	76,8%
	Diesel B		97,9%	97,7%	97,2%	96,5%	93,4%	69,4%
Nível de pronto serviço	Diesel A		60,3%	52,3%	38,2%	39,5%	14,2%	8,2%
	Diesel B		62,5%	60,7%	58,3%	54,6%	38,4%	9,9%
Estoque médio absoluto e em percentual	Diesel int	m³	12.320	12.976	14.388	12.992	18.848	23.207
			48,3%	50,9%	56,4%	51,0%	73,9%	91,0%
	Diesel A	m³	41.402	43.220	45.095	42.335	42.463	39.585
			66,8%	69,7%	72,7%	68,3%	68,5%	63,8%
	Diesel B	m³	17.608	18.290	19.257	17.288	16.389	12.930
			56,8%	59,0%	62,1%	55,8%	52,9%	41,7%
Giro de tancagem	Diesel A	giro/ tq/mês	5,66	5,66	5,61	6,47	6,84	6,43
	Diesel B		4,34	4,31	4,31	4,95	5,52	4,64
Ocupação crítica	Diesel A		14,6%	19,0%	25,7%	16,4%	18,1%	12,1%
	Diesel B		17,0%	18,4%	22,3%	17,3%	15,6%	11,8%
Sem estoque venda	Diesel A		13,2%	16,1%	23,3%	17,3%	24,3%	30,4%
	Diesel B		23,9%	24,5%	26,1%	26,5%	31,1%	56,6%
Estoque pronto	Diesel A	m³	13.917	11.625	9.277	11.125	8.790	7.422
	Diesel B	m³	9.231	8.610	8.070	8.300	6.785	3.583
Ciclo do tanque	Diesel A	h	124	127	131	111	105	106
	Diesel B	h	149	150	157	130	113	111
Período do tanque	Diesel A	h	133	134	135	117	111	119
	Diesel B	h	172	172	175	153	139	168
Indicador de folga por ciclo	Diesel A	h	8,7	6,5	4,7	6,1	6,0	12,2
	Diesel B	h	23,4	21,6	17,9	23,8	26,1	56,2

Comentários a respeito da Tabela 2:

- Sobre a sensibilidade ao mercado, pode-se concluir, observando os níveis operacional e de serviço, que o sistema é capaz de suportar um eventual aumento de 15% na demanda do mercado, apenas sacrificando um pouco o nível de pronto serviço. A partir daí, aumentos sucessivos no mercado produzem pioras generalizadas dos resultados, tendendo rapidamente ao colapso quando os acréscimos de mercado aproximam-se de 45%. Entretanto, o acréscimo de 30%, apesar de provocar resultados ruins, talvez pudesse ser objeto de avaliações sob aspectos diferentes de tancagem para melhorar a situação.
- Nota-se que a sensibilidade dos níveis de operação e de serviço e do giro da tancagem ao aumento dos tempos de certificação dos tanques de produtos finais é pequena. Outrossim, as pioras observadas nos outros itens têm como causa básica a redução do percentual do estoque pronto em relação ao estoque médio dos produtos, o qual aumentou. Isso, naturalmente, provoca pioras no nível de pronto serviço e aumento da ocupação crítica e da falta percentual de estoques para venda, além de aumentar o ciclo dos tanques e reduzir a folga, ambos diretamente provocados pelo maior tempo na fase de preparo (ver Figura 3).

O Gráfico 1 mostra, para os cenários do primeiro grupo, a evolução dos ciclos e dos períodos dos tanques de produtos finais (escala da esquerda) e a evolução das folgas relativas (folga dividida pelo período) desses tanques (escala da direita).

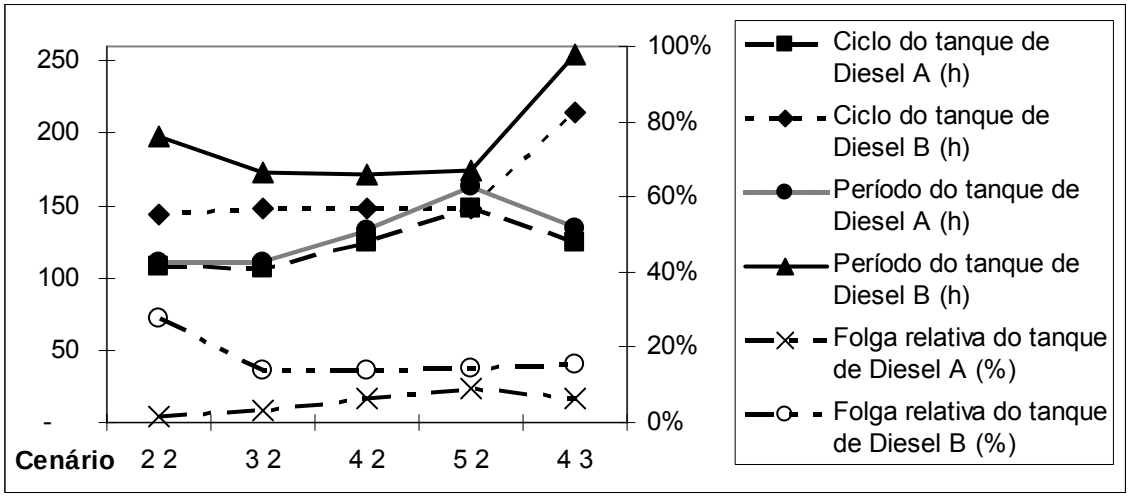

Gráfico 1 – Evolução dos ciclos, períodos e folgas

É interessante ressaltar os seguintes pontos:

- No cenário “2 2”, que apresenta uma situação de colapso do sistema, praticamente não há folga na operação dos tanques de Diesel A, cujo nível de serviço é muito baixo. Isso demonstra uma tancagem subdimensionada. Por outro lado, há bastante folga na operação dos tanques de Diesel B. Isso, ao contrário do que talvez possa sugerir seu nível de serviço abaixo do aceitável, não necessariamente indica que sua tancagem está subdimensionada, mas sim um desequilíbrio operacional proveniente de outra fonte.
- O ciclo mínimo ideal calculado para os tanques de Diesel A e B é, respectivamente, de 75h e 76h. Nota-se que os ciclos apurados são sempre significativamente maiores que os ideais. Isso provavelmente configura restrições de seqüenciamento das operações que podem, eventualmente, ser um desequilíbrio operacional.
- Ciclo e período dos tanques de Diesel B mantiveram-se estáveis nos cenários “3 2”, “4 2” e “5 2”, ao mesmo tempo em que o nível de serviço manteve-se estável num patamar bom. Quando inserimos um terceiro tanque em sua tancagem (cenário “4 3”), o ciclo e o período dispararam, o que é um indicativo de tendência de tancagem superdimensionada, embora tenha ocorrido pequena melhora no nível de serviço.

10. Comentários finais

A abordagem por simulação substitui, em casos mais complexos, outros métodos; sobretudo os seguintes:

1) A análise essencialmente estatística não deixa de ser útil para uma primeira avaliação da tancagem. Entretanto, em modelos mais complexos, geralmente não se justifica o esforço requerido em relação ao problema a resolver.
2) A abordagem através de esquemas analíticos baseados no ciclo dos tanques, semelhantes à Figura 3, mas com a diferença, em relação àquela figura, de incluir as seqüências integradas de todos os tanques do parque. Então, observando-se regras, como só um tanque recebe por vez ou um tanque só expede depois de certificado, podem-se verificar folgas e impossibilidades; tal como o produto acabou e não há outro tanque pronto. Este método é simples, mas pode ser útil em contextos pequenos.

Quanto à análise por simulação cabe observar que o uso deste método, conforme o apresentado, neste texto, pode ser dividido em dois graus de complexidade. O modo mais simples é observar as métricas individualmente, de onde já se pode obter alguns bons resultados, mas deixa-se de aproveitar muita informação útil. Por isso, as análises mais complexas observam os resultados de forma integral e integrada. Ao invés de indícios superficiais para os quatro tipos de problemas citados na seção 6, podem-se construir diagnósticos e propor soluções.

Concluindo, o conjunto de métricas combinadas tem sido regularmente usado, conseguindo, sobretudo, os seguintes benefícios:

- Existência de um processo organizado de análise, etapa a etapa, por configurações viáveis para os investimentos complementares em tanques, convergindo os níveis operacional e de serviço a patamares cada vez mais economicamente atrativos;
- Possibilita realizar comparações entre modelos alternativos para um mesmo escopo, pois as métricas têm fórmulas padronizadas e, com isso, podem ser identificados grupos com comportamentos similares dentro de determinados objetivos;
- Facilita a comparação entre os resultados preditos pelo modelo e os posteriormente realizados. Isso pode simplificar as calibragens de futuros modelos e favorecer a criação de dispositivos de alerta para acompanhar o sistema real estudado pelo modelo.

Além disso, continuam sendo executadas novas modelagens visando não só resolver novos problemas da Empresa, mas também aprimorar este método de análise de tancagens através estudos de maior profundidade sobre o conjunto de métricas utilizadas.

Referências.

Balci, O. e Ormsby, W. F. (2007), “Conceptual modeling for designing large-scale simulations”, Journal of Simulation I(3), 175–186.

Chan, A. (2006), Simulação aplicada às operações logísticas de um parque de armazenamento de gasolina de uma refinaria de petróleo, dissertação de mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

Fuller, D. B. (2009), Um simulador de refinarias de petróleo, dissertação de mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

Fuller, D. B. e Ferreira Filho, V. J. M. (2008), Um modelo de otimização para cálculo de parâmetros para simulação de refinarias de petróleo, in “XL SBPO: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional”, João Pessoa, PB.

Limoeiro, C., Fuller, D. B., Pereira, B. e Barbosa, G. (2008), Processo de dimensionamento por simulação de um sistema integrado de suprimento de petróleo para um conjunto regional de refinarias, in “Anais do SBPO 2008”, Sobrapo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Riach, J. P., Galvão, R. D., Messer, L. E Da Silva, J. R. M. (1970), Um método matemático-estatístico para a determinação de estoques e tancagens, Relatório técnico, Sindicato Nacional do Comércio Atacadista de Minérios e Combustíveis Minerais, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.