

## 4

### Dimensionamento de Frota

A principal finalidade de uma empresa de petróleo é vender produtos aos seus clientes. O produto comercializado pode ser o próprio petróleo em seu estado primitivo ou um derivado do processo de refino, seja ele um produto final ou intermediário. A atividade fim desta indústria é a produção de petróleo e o processo de refino do mesmo. A atividade de transporte muitas vezes é relegada a um segundo plano, podendo até ser terceirizada em alguns casos.

Em países desenvolvidos, como os EUA, por exemplo, há vários concorrentes em cada segmento de mercado, constituindo uma estrutura de mercado similar à concorrência perfeita, caracterizada basicamente pelo alto grau de competitividade entre os inúmeros concorrentes. De forma geral, há o produtor de petróleo, o refinador e o transportador. Uma empresa pode ser considerada integrada quando participa em mais de um destes segmentos. Analisando separadamente o Brasil, onde a iniciativa pública foi determinante para o desenvolvimento da indústria de base a partir da década de 40, a integração vertical é marcante no mercado de petróleo e derivados, englobando todos os segmentos.

A atividade de transporte consiste em levar um determinado bem de um ponto para outro. A frota é o conjunto de veículos utilizados para a movimentação destes bens em um dado intervalo de tempo. Conforme exposto no capítulo anterior, o transportador é responsável por uma parte do processo de gestão da cadeia de suprimento.

Os problemas de dimensionamento de frota e roteirização de veículos são antigos no ramo acadêmico. É extensa a literatura sobre dimensionamento de um sistema de transporte, que por sua vez, é composto por vários veículos se locomovendo continuamente em uma rede interligada. No caso do transporte marítimo de petróleo, a rede é composta por terminais, navios e refinarias. É imprescindível a inclusão das refinarias devido às restrições de processamento, que determinarão o terminal de destino de cada petróleo produzido nas plataformas.

Apesar da grande quantidade de trabalhos publicados sobre dimensionamento de frota, são poucos os autores brasileiros com enfoque no

modal aquaviário. A grande maioria se concentra no transporte terrestre, utilizado em maior escala no país e por mais participantes.

As relações entre as variáveis, apesar de simples correlações matemáticas, são pouco difundidas entre os profissionais do ramo e resultam em custos significativos para as empresas. Neste capítulo serão expostos alguns conceitos importantes para o cálculo do tamanho da frota, como frequência de serviço e tempo de ciclo. Será exposto o procedimento heurístico de Clarke e Wright, que servirá de ferramenta para o cálculo dos ganhos potenciais decorrentes da roteirização de navios no estudo de caso constante no capítulo 5 seguinte.

#### 4.1. Frequência e Tempo de Ciclo

Manhein (1979) definiu o tempo de ciclo (TC), necessário para a realização de uma viagem completa ou redonda, na qual o veículo retorna ao ponto de partida após proceder a entrega do produto, como:

$$TC = \frac{Dist\_total}{Vel\_media}$$

onde:

*Dist\_total*: distância total percorrida.

*Vel\_media*: velocidade média de cruzeiro.

Ainda segundo Mahein (1979), a frequência (Freq) de um serviço de transporte prestado por um veículo é dada pelo inverso do tempo de ciclo. Matematicamente, tem-se:

$$Freq = \frac{1}{TC} = \frac{Vel\_media}{Dist\_total}$$

Notar que quanto maior a distância entre os pontos, menor será a frequência, contribuindo para consolidação de grandes volumes de modo a maximizar os ganhos de escala no transporte. Logo, para uma frota (F) composta por n veículos, a frequência total do serviço (Freq) é:

$$Freq = \frac{F}{TC} = \frac{n}{TC}$$

Reordenando a equação, é possível determinar o número de veículos (n) que compõem a frota (F) a partir da frequência de serviço (Freq) conhecida:

$$n = Freq \times TC$$

Speranza e Bertazzi (1999) estudaram a correlação entre frequência de entrega (Freq) e os custos de transporte e armazenagem. É importante salientar que a frequência de entrega é diretamente proporcional ao custo do estoque, ou seja, quanto menor o espaço de tempo entre as entregas, menor será o custo de estoque, dado que o tamanho do lote de entrega também será menor. Os autores consideraram uma rede composta por uma origem, vários pontos de transbordo e um destino apenas, de modo que a eficiência da frota não sofre impactos significativos.

Ganesham (2001), assim como Daganzo (1995) e Blumenfeld et alli (1985), aprofundaram suas análises na relação entre frequência de entrega e os desdobramentos do estoque imobilizado em uma cadeia de suprimentos. A frequência de serviço é determinada, em última instância, pelo modelo do lote econômico, que almeja atingir o custo unitário total para uma demanda uniforme no tempo, considerando-se o custo de manter em estoque os custos de realizar o pedido, incluindo as despesas administrativas. Desta forma, o tamanho do lote é a variável que influencia diretamente no intervalo entre envios.

Aguiar (1993) dimensionou um sistema de coleta de resíduos sólidos por caminhões, fazendo uso da relação entre frota e frequência, além de inserir o conceito de variabilidade do tempo de ciclo, questão que já foi abordada por Novaes (1989) com o intuito de representar a realidade com maior acurácia.

Um dos grandes entraves no dimensionamento de frota é justamente determinar a frequência de serviço, que está intimamente ligada à previsão de demanda. Tabosa (1979) descreve com propriedade sobre as dificuldades causadas pela variabilidade da demanda no transporte público. A metodologia utilizada pelo autor se baseia em definir uma frota capaz de atender o pico de

demanda por transporte. É possível estender esta abordagem para o transporte de carga para produtos sazonais.

No transporte marítimo não são verificadas interrupções decorrentes da jornada de trabalho dos tripulantes. Novaes e Graciolli (1999) ressaltam sobre as limitações de horas-extras no roteamento de veículos. O tempo de ciclo ou viagem redonda é o intervalo entre o início da carga e o reposicionamento do navio no mesmo ponto de partida, incluindo o tempo de viagem até o destino e a descarga do. Nos transportes em VCP, esta é a metodologia utilizada para o cálculo dos valores de fretes negociados. Deste modo, o tempo ciclo pode ser concebido a partir da seguinte fórmula:

$$TC = 2 \times t + T_p + T_r$$

onde:

$t$ : tempo de viagem da origem ou depósito até a zona de serviço.

$T_p$ : tempo total de parada em todos os pontos de uma zona.

$T_r$ : tempo médio de viagem entre dois pontos dentro de uma mesma zona.

É interessante notar que no tempo de parada estão somados todos os tempos de espera nos vários pontos atendidos dentro de uma mesma zona. Com base no tempo de ciclo é possível expressar a demanda por transporte em número de dias, ou horas conforme o caso concreto.

Outro conceito importante que merece atenção é o do *headway* ou intervalo de serviço (H) em um determinado ponto, ou seja, o intervalo de tempo entre a passagem de dois veículos consecutivos. Para uma frota (F) têm-se o *headway* (H):

$$H = \frac{TC}{F}$$

O tamanho do lote de carregamento influencia diretamente o tempo de operação e conseqüentemente o tempo de ciclo total, acarretando em variações no *headway* (H). Percebem-se oscilações na quantidade transportada decorrentes da indisponibilidade momentânea de produto ou de capacidade no veículo. No

transporte marítimo, as restrições de carga também podem ser causadas pelo calado máximo no destino, seja no terminal, nos canais de acesso ou nas zonas tropicais por onde a embarcação possa, porventura, trafegar.

Fonseca et al (1992) utilizaram o conceito de *headway* (H) para a resolução de um problema de distribuição de derivados de petróleo a partir de um centro de distribuição. Os autores agruparam os clientes em categorias e calcularam a frota em função da taxa de consumo constante (Tx) e da capacidade dos veículos (Cap). Segundo os autores, há um ciclo de consumo para cada grupo de clientes, atendidos por frotas com tempos de ciclo diferentes. Esquemáticamente, tem-se o cálculo do dimensionamento de frota:

$$F = \frac{TC}{H} = \frac{TC \times Cap}{Tx}$$

onde:

*F*: quantidade de veículos

*H*: intervalo entre a passagem de dois veículos consecutivos

*Cap*: capacidade máxima de transporte do veículo

*Tx*: taxa de consumo do ponto de entrega

## 4.2.

### Procedimento de Clarke e Wright

Este procedimento almeja definir roteiros com base no conceito de ganho no tempo de transporte. Trata-se de um método heurístico que busca uma solução de custo mínimo, seja em distância percorrida ou em tempo gasto para a realização do transporte. Bodin et al (1983) classifica o modelo como procedimento de inserção, uma vez que a cada passo verifica-se a procura por um melhor conjunto de pontos para serem incorporados ao roteiro.

Uma aplicação deste método pode ser verificada na resolução do problema do caixeiro viajante (TSP – *Travelling Salesman Problem*). O problema consiste em se percorrer uma série de pontos, partindo de uma base e retornando à mesma com o menor custo.

Clarke e Wright (1964) estabeleceram o conceito de ganho baseado na diferença entre as distâncias percorridas em dois roteiros distintos. A solução inicial e ineficiente é o atendimento de cada ponto por um veículo dedicado, partindo e retornando ao depósito. O percurso total ( $L$ ) pode ser expresso em função das distâncias entre cada ponto e a base de origem ( $l_{D,i}$ ), conforme a seguinte equação:

$$L = 2 * \sum_{i=1}^n l_{D,i}$$

Entretanto, havendo capacidade ociosa do veículo, é possível atender um ponto a mais em um mesmo roteiro. A figura a seguir ilustra a solução inicial dada pelo Roteiro A e um novo Roteiro B incorporando o ponto  $j$ .

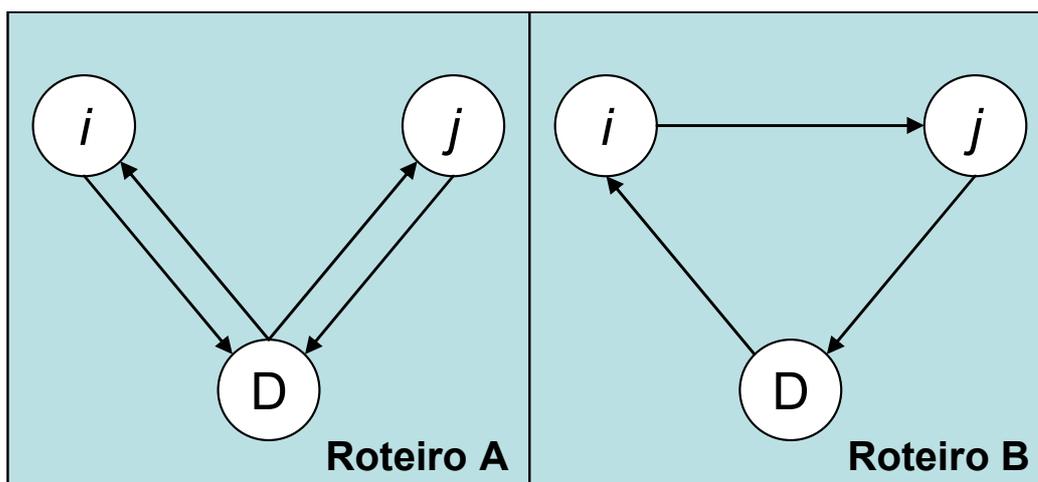


Ilustração 1. Conceito de Ganho de Clarke e Wright.  
Fonte: O autor

O ganho  $S(i,j)$  proveniente da agregação do ponto  $j$  a solução inicial, portanto, é dado pela diferença entre os caminhos percorridos nos dois roteiros ( $L_a$  e  $L_b$ ), de acordo com a seguinte equação:

$$S(i,j) = L_a - L_b = (2 * l_{D,i} + 2 * l_{D,j}) - (l_{D,i} + l_{i,j} + l_{j,D}) = l_{D,i} + l_{j,D} - l_{i,j}$$

Para a aplicação do procedimento será utilizada a sistemática demonstrada por Leal (2006), que por sua vez está baseada na prática abordada e difundida na

literatura pesquisada, especialmente Novaes (1989), Larson e Odoni (1981). Desta forma, far-se-á necessário seguir os seguintes passos:

- i. Calcular os ganhos  $S(i,j)$  para todos os pares de pontos  $i$  e  $j$  a serem atendidos pelo veículo, com  $i \neq j \neq D$ .
- ii. De posse destes valores, classificá-los em ordem decrescente. O intuito é iniciar a construção de um roteiro a partir dos maiores potenciais de ganho.
- iii. Criar um roteiro a partir do maior valor de ganho considerando-se os pares de pontos  $i$  e  $j$  constantes na lista elaborada de conforme item anterior. O roteiro será formado, inicialmente, por estes dois pontos, do seguinte modo:

*D-i-j-D*

- iv. Verificar se as restrições de tempo, capacidade ou de qualquer outra natureza relevante ao problema são respeitadas. Caso alguma restrição tenha sido extrapolada, descartar o último ponto incluído e seguir para o próximo passo.
- v. Selecionar o maior valor da seqüência de ganhos disponível e verificar se algum dos pontos já se encontra em um roteiro. Caso positivo, retornar ao passo (iii). Caso contrário, há três possibilidades:
  - a. Se somente um dos pontos ( $i$  ou  $j$ ) encontra-se em um roteiro, verificar se o mesmo encontra-se na extremidade. Em caso positivo, incorporá-lo no roteiro e retornar ao passo (iv). Em caso negativo, descartar o par e retornar ao passo (v).
  - b. Se os dois pontos ( $i$  e  $j$ ) encontram-se em roteiros diferentes e estão localizados na extremidade dos mesmos, unir os dois roteiros e retornar ao passo (iv). Em hipótese negativa, abandonar o par e retornar ao passo (v).
  - c. Se os dois pontos ( $i$  e  $j$ ) já estão no mesmo roteiro, abandonar o par e voltar ao passo (v).
- vi. Realizar o procedimento para todos os ganhos  $S(i,j)$  relacionados na listagem do item (ii). Caso haja algum ponto  $k$  que ainda não esteja em um

roteiro, criar roteiros simplificados atendendo apenas o próprio ponto, da seguinte forma:

*D-k-D*

A seguir será realizado um estudo de caso utilizando o conceito de ganho definido nesta seção. A criação de roteiros será realizada considerando-se as restrições de capacidade de carga dos veículos e de infra-estrutura para o recebimento de produtos.