

## 5 Protótipo e análise dos resultados

Este capítulo apresenta a implementação do protótipo do SSD em fase teste, a obtenção e tratamento dos dados e parâmetros iniciais para alimentar o protótipo, os testes efetuados e os resultados obtidos.

A fim de validar o modelo proposto no Capítulo 4, foi desenvolvido um protótipo utilizando os *softwares* Microsoft Excel® e AIMMS®. No Microsoft Excel® são inseridos todos os dados necessários para reproduzir o ambiente de programação de navios e, para efeito de comparação de resultados, também são inseridas a programação manual e a programação após ajustes do programador. Já o AIMMS® processa quatro etapas em sequência. Primeiro, os dados são importados do Microsoft Excel®, depois são pré-processados gerando as rotas, as programações e calculando os custos relativos às programações; em seguida, o modelo matemático é resolvido, visando minimizar o custo de operação dos navios; e, na última etapa, o AIMMS® importa do Microsoft Excel® os dados referentes à programação manual e à programação após ajustes e calcula o custo destas programações sob os mesmos critérios utilizados pelo modelo.

O protótipo foi testado durante os três primeiros meses de 2012 na atividade de programação de navios de longo curso de petróleo da PETROBRAS. Enquanto os programadores de navios executavam sua atividade de programação normalmente, como sempre fizeram, o protótipo construído foi alimentado com as mesmas informações disponíveis para os programadores e periodicamente eram geradas programações. Estas eram atualizadas sempre que ocorria alguma mudança no cenário, tais como alteração na data e posicionamento dos navios, alteração nas datas e locais de carregamento e descarga, por exemplo. Sempre que o protótipo gerava uma programação, os programadores faziam uma validação desta, analisando restrições e oportunidades não modeladas no SSD e que poderiam inviabilizar alguma indicação do SSD. Caso exista alguma restrição não modelada, o programador faz um ajuste na indicação do SSD a fim de torná-la uma programação factível.

Assim, os resultados das três programações são comparados entre si, verificando informações como custo contratação de navios *spot* e sobrestadia. Os resultados foram registrados e são apresentados ao final deste capítulo.

A Seção 5.1 apresenta os dados e parâmetros de entrada, como eles foram obtidos e que considerações e adaptações foram feitas a fim de viabilizar a aplicação do modelo, mas, ao mesmo tempo, evitando o distanciamento da realidade. A Seção 5.2 apresenta como foram efetuados os testes. A Seção 5.3 oferece uma análise dos resultados dos testes.

### 5.1. Dados utilizados no modelo

A fim de testar o protótipo na atividade de programação de navios de longo curso de petróleo da PETROBRAS, é necessário obter uma série de dados e parâmetros iniciais para reproduzir o ambiente de transporte marítimo no modelo. Os dados de entrada foram divididos em três grupos: os dados iniciais ou fixos; os dados dos cenários; e os dados das cargas.

Os dados ou parâmetros iniciais foram chamados de **dados fixos** e se referem a informações como: nome dos navios, consumo de *bunker* de cada navio em cada tipo de operação, velocidade de navegação, nome dos portos de carga e descarga, tempo de operação em cada um dos portos, custos portuários e distância entre os portos. Dados estes semelhantes aos que foram utilizados em Christiansen e Fagerholt (2002).

Os **dados dos cenários** são informações temporárias que variam ao longo do tempo e devem ser atualizadas a cada nova rodada do modelo. Sempre que ocorrer alguma alteração no ambiente de programação, uma nova instância pode e deve ser avaliada. Exemplos típicos de alterações no cenário de programação são: atrasos ou antecipações na previsão de disponibilidade de algum navio; alteração de data ou local de carregamento ou ainda de descarga; oscilações no custo do *bunker*, ou ainda alteração no custo de frete no mercado *spot*. Estes tipos de informações são muito dinâmicas ao longo do tempo, portanto é importante mantê-las sempre atualizadas conforme preconizado em Kavussanos e Alizadeh, (2002). Os dados dos cenários são os seguintes: local e data de abertura dos navios, custo de frete dos navios no mercado *spot*, custo de *bunker* e o *daily value* do navio.

Os dados relativos às cargas que devem ser transportadas (**dados das cargas**) são obtidos de um sistema chamado de PIMEX. Neste sistema são alimentadas todas as informações relativas às cargas de importação e exportação de petróleo, conforme as cargas vão sendo compradas e vendidas pela área comercial. Cada carga recebe um código sequencial, que será utilizado como chave pelo modelo. As informações pertinentes relacionadas às cargas são: porto de carregamento, porto de descarga, data de início e fim da faixa de carregamento e data de início da faixa de descarga. Estas informações devem ser atualizadas a cada rodada de programação.

O Apendice A apresenta uma descrição detalhada dos dados de entrada, onde eles são obtidos e qual a importância de cada um dentro do SSD proposto.

Uma vez descritos os dados iniciais, os dados dos cenários e os dados das cargas, na próxima seção é descrito o método utilizado para testar o protótipo com cargas reais e em tempo de programação.

## **5.2. Testes**

Para validar o modelo em um caso real, os testes tiveram que ser efetuados em tempo de programação, ou seja, ao mesmo tempo em que os programadores executavam suas atividades. As mesmas informações que os programadores dispunham eram utilizadas para alimentar o modelo a fim de obter uma comparação realista e sob os mesmo critérios.

O teste segue o seguinte conjunto de etapas:

Na data definida para rodar a programação são inseridas no modelo os dados relativos a todas as cargas compradas e vendidas pela área comercial até aquele instante que ainda estão em tempo de programação, ou seja, ainda não estão alocadas para nenhum navio. Chama-se o conjunto de cargas a serem programados e todas as informações relativas à frota e às cargas naquele instante de um instância de programação. Este é um conceito importante, pois cada rodada de teste avalia uma instância de programação.

Após a entrada dos dados das cargas, os dados do cenário são atualizados.

Uma vez feita toda a entrada de dados necessária, o modelo é rodado e, na sequência, comparado com a programação feita manualmente pelos programadores para o mesmo conjunto de cargas. Os requisitos comparados são custo de operação, número de navios contratados no mercado *spot*, número de navios em sobrestadia e quantidade de programações factíveis analisadas. O custo obtido com a programação gerada pelo modelo é comparado com o custo obtido com a programação feita manualmente e os resultados são discutidos com os programadores. Caso alguma programação indicada pelo SSD não seja factível, então devem ser feitos os ajustes necessários para tornar esta programação factível. Os resultados das três programações: do modelo, do programador e a ajustada são registrados para análise final.

Alguns dias depois, diante de alguma alteração significativa no cenário de programação ou no conjunto de cargas, todo o processo é repetido, iniciando a avaliação de uma nova instância de programação. As cargas que foram efetivamente programadas na instância anterior são descartadas e novas cargas, vendidas ou compradas pela área comercial, são acrescentadas às cargas que ainda não foram programadas, formando assim um novo conjunto, que representa o conjunto de todas as cargas em tempo de programação neste novo instante. Além disso, todos os dados do cenário e das cargas são atualizados, como o posicionamento dos navios e as informações de frete e de mercado.

A Figura 7 descreve um fluxograma para representar o método utilizado para a realização dos testes do protótipo.

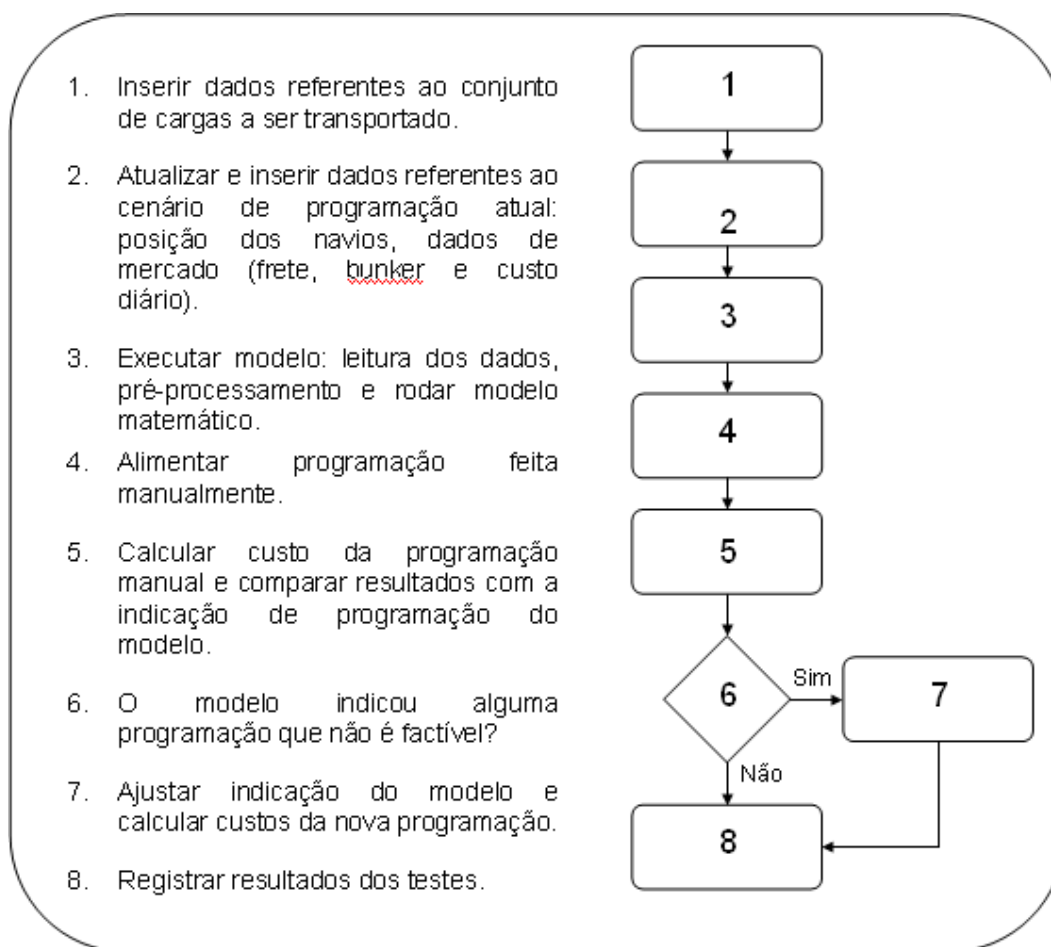


Figura 7: Fluxograma do método para testes do protótipo

Este procedimento foi repetido 12 vezes ao longo dos três primeiros meses de 2012 sempre que ocorreu alguma alteração significativa no ambiente de programação, ou seja, alterações nas previsões de posicionamento dos navios ou alguma alteração no conjunto de cargas. Assim foram avaliadas 12 instâncias, cujos resultados são apresentados e discutidos na próxima seção.

### 5.3. Análise dos resultados

Nesta seção são apresentados os resultados das 12 instâncias testadas. A Tabela 3, que consolida os resultados dos testes, está estruturada em quatro blocos de informação. O primeiro conjunto de dados apresenta informações gerais sobre a programação de cada instância, como a data em que foi realizada, o número de cargas de exportação, de importação e o número de navios programados. O segundo bloco apresenta os resultados da programação feita manualmente (atual realidade da empresa), com duas colunas: quantidade de navios *spot* e de navios em sobrestadia indicados pelos programadores. O terceiro bloco de informações apresenta os resultados da programação do SSD

com quatro colunas: programações geradas, quantidade de navios *spot*, quantidade de navios em sobrestadia e a redução de custos comparados com a solução indicada pelo programador. O último conjunto de informações apresenta as informações referentes à indicação do SSD após os ajustes efetuados pelos programadores. As colunas indicam quantidade de navios *spot* necessários, quantidade de navios em sobrestadia e a redução de custos relativa se comparada com a programação manual. Nota-se que nem todas as instâncias necessitaram de ajustes, isto ocorreu nas ocasiões em que a indicação do SSD foi aceita pelos programadores, pois todos os requisitos foram atendidos pelo modelo. As reduções de custos marcadas em negrito são aquelas reduções que foram efetivamente atingidas.

		Instâncias					Resultados do Programador			Resultados do Modelo					Resultado após ajustes		
Nº	Data	Exp.	Imp	Total	Navios prog.	Navios spot	Navios ociosos	Progr. Factíveis	Navios spot	Navios ociosos	Redução de Custo	Navios spot	Navios ociosos	Redução de Custo			
1	17 janeiro, 2012	8	9	17	10	7	1	201	7	0	<b>9,4%</b>	<b>SEM NECESSIDADE DE AJUSTES</b>					
2	23 janeiro, 2012	7	5	12	8	7	3	72	6	2	6,9%	7	3	<b>0,6%</b>			
3	26 janeiro, 2012	5	4	9	7	2	0	92	2	0	8,5%	2	0	<b>8,3%</b>			
4	1 fevereiro, 2012	8	5	13	13	4	4	194	4	4	13,3%	4	4	<b>10,4%</b>			
5	7 fevereiro, 2012	9	5	14	10	5	2	244	4	0	<b>12,7%</b>	<b>SEM NECESSIDADE DE AJUSTES</b>					
6	13 fevereiro, 2012	9	7	16	11	6	2	211	5	0	<b>10,7%</b>	<b>SEM NECESSIDADE DE AJUSTES</b>					
7	17 fevereiro, 2012	7	9	16	10	7	1	194	6	0	<b>6,5%</b>	<b>SEM NECESSIDADE DE AJUSTES</b>					
8	24 fevereiro, 2012	9	6	15	12	5	3	227	4	1	15,4%	5	2	<b>8,4%</b>			
9	2 março, 2012	11	5	16	11	7	2	187	5	0	11,7%	6	1	<b>8,5%</b>			
10	9 março, 2012	11	8	19	12	6	0	291	7	0	<b>8,2%</b>	<b>SEM NECESSIDADE DE AJUSTES</b>					
11	16 março, 2012	6	6	12	10	2	0	187	2	0	<b>1,7%</b>	<b>SEM NECESSIDADE DE AJUSTES</b>					
12	23 março, 2012	4	6	10	7	3	0	113	3	0	<b>5,2%</b>	<b>SEM NECESSIDADE DE AJUSTES</b>					

Tabela 3: Comparativo de Resultados

### 5.3.1. Descrição dos resultados

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a programação de cada instância testada. A principal análise que se faz a partir dos resultados sintetizados na Tabela 3 está relacionada aos quesitos contratação de navio *spot*, navios em sobrestadia e custo da programação. Além destas informações, o bloco de dados da programação do SSD ainda oferece um quarto quesito interessante, que só pode ser verificado na programação indicada pelo SSD, que é a quantidade de alternativas avaliadas. Mesmo não conseguindo comparar este dado com as alternativas avaliadas pelo programador, é interessante observar que para cada instância o SSD considerou a análise de 72 a 291 alternativas de programação. Esta quantidade de alternativas é impossível de ser analisada manualmente por um programador em tempo de programação, por mais experiente que ele seja.

Comparando apenas os conjuntos de dados relativos às programações do SSD e do programador, notamos que, em relação à contratação de navios *spot*, verifica-se que em seis das doze instâncias analisadas, o SSD indicou a contratação de menos navios *spot* do que o programador. Em cinco delas o número de navios *spot* contratados foi igual à indicação dos programadores e em somente uma instância o SSD indicou a contratação de mais navios *spot* do que o programador. Além da redução no número de navios contratados, o SSD também avalia quais as cargas que, sendo transportadas por navios *spot*, trariam menores custos de afretamento. Este indicador, por si só, já pressupõe uma redução do desembolso da companhia, pois a contratação de navios no mercado *spot* é sempre acompanhada de um desembolso adicional. Isto difere da opção pelo transporte utilizando navios da frota controlada, pois estes já possuem um gasto fixo independente de sua utilização.

Já no quesito navios ociosos durante o horizonte de programação, o modelo buscou minimizar este número, afinal um navio ocioso representa gastos operacionais sem estar transportando qualquer produto. Nota-se que em sete das doze instâncias analisadas, a quantidade de navios em sobrestadia foi menor na programação do SSD do que na programação manual e em nenhuma instância o SSD indicou um número maior de navios em sobrestadia do que o programador. Corroborando assim com o indicador de eficiência de navios da companhia, que pressupõe que quanto menos tempo de sobrestadia melhor.



Diante dos resultados apresentados até então, não é surpresa o fato de que em todas as instâncias testadas, a programação indicada pelo SSD obteve custo menor do que a programação feita manualmente pelo programador, até porque a função objetivo do modelo matemático utilizado no SSD é minimizar custo. Esta redução de custo variou entre 1,7% e 15,4% em relação ao custo da programação manual, embora algumas das instâncias tiveram que ser ajustadas alterando a redução de custo. Destaca-se que para preservar a confidencialidade dos dados, os valores absolutos foram omitidos e apenas as reduções relativas são aqui divulgadas.

Embora os resultados apresentados tenham se mostrado bastante satisfatórios, conforme destacou Fagerholt (2004), o modelo proposto não pode contemplar todas as restrições inerentes à atividade de programação de navios. Portanto, durante a etapa de análise e validação das indicações do SSD pelos programadores, foi identificado que algumas das programações indicadas foram consideradas inviáveis, pois não atendiam certas restrições que não haviam sido contempladas na modelagem do SSD. Situação esta que já era esperada, dado que não era intenção do SSD representar as restrições relativas ao transporte marítimo em sua amplitude, conforme destacado no Capítulo 4. Sendo assim, pode-se dizer que a redução de custo obtida com a programação do SSD é uma redução potencial, pois ainda pode sofrer alterações dependendo da análise dos programadores.

Após validação dos programadores, cinco das doze programações indicadas pelo SSD não atendiam alguma restrição operacional ou comercial não modelada. Diante disto, algumas alterações foram feitas na indicação do SSD a fim de permitir que a programação se tornasse factível. Após as alterações efetuadas pelos programadores, ainda assim, foi observada redução de custo em todas as cinco programações ajustadas, alcançando um valor máximo de 10,4% na quarta instância. A próxima sub-seção descreve algumas observações levantadas pelos programadores durante etapa de validação.

### **5.3.2. Validação dos resultados do SSD**

Nesta etapa dos testes, os programadores buscaram encontrar observações importantes na indicação de programação do SSD de forma a criticar e validar os resultados obtidos a partir do modelo. Entre as observações notadas podem se destacar rotas pouco usuais indicadas pelo SSD,

oportunidades comerciais não inseridas no modelo, navios recusados pelos parceiros comerciais e outras restrições que tenham inviabilizado a programação, mas não foram consideradas pelo SSD por terem natureza diversa e imprevisível. A seguir são descritas algumas situações em que o programador fez ajustes na indicação do SSD, pois estas não atendiam certas restrições. Mais adiante nesta seção são apresentadas outras situações onde os resultados do modelo surpreenderam o programador com indicações não usuais que, no entanto, levaram a uma programação com menor custo, quebrando paradigmas e abrindo novas alternativas de programação.

Em três cargas, o navio alocado pelo modelo foi recusado pelo fornecedor da carga. No primeiro caso, um certificado de inspeção do navio, que era exigido pelo fornecedor da carga, estava vencido. Nas outras duas situações, o navio estava saindo de um estaleiro, onde havia acabado de terminar uma docagem, neste caso o fornecedor das cargas em que os navios foram alocados tem como regra não aceitar navios em primeira viagem após saída de docagem.

Em outras situações, o programador optou em deixar um navio que terminava uma descarga na Europa em sobrestadia até o final do horizonte de programação daquela instância e contratou um navio *spot* para transportar uma carga de exportação no Brasil. Enquanto isso, o modelo decidiu alocar o mesmo navio para uma viagem de exportação, fazendo o navio retornar sem carga para o Brasil. O modelo minimizou o custo da programação para aquela instância, porém, naquele momento, o programador tinha uma nova informação sobre uma carga de importação que deveria ser comprada logo após o término do horizonte de programação. Algumas vezes o programador faz uma aposta que a área comercial irá comprar ou vender uma carga, baseado nas requisições e ofertas de óleo da companhia. Porém, como a transação comercial ainda não ocorreu, as informações relativas à carga, como datas e locais de carregamentos e descarga ainda não estão disponíveis e, portanto, as cargas não podem ser introduzidas no SSD. Este tipo de situação pode ocorrer com frequência devido a forma gradativa com que as cargas são comercializadas pela área comercial. Portanto, cabe ao programador fazer esta avaliação e, assim que receber as informações sobre novas compras ou vendas, atualizar os dados das cargas e do cenário e rodar novamente o SSD, buscando uma nova indicação de programação.

Em algumas ocasiões o SSD indicou uma programação onde o navio tinha previsão de chegada no porto de carregamento muito próximo à data limite de chegada para atender a janela de operação. Nestas situações, para manter o elevado nível de serviço e evitar possíveis atrasos decorrentes de fatores externos, o programador optou pelo conservadorismo e alocou um navio que chegaria ao porto de carregamento com mais antecedência, mesmo sabendo que esta alteração iria incorrer em mais custos operacionais.

As situações descritas anteriormente representam algumas das inúmeras situações reais, que podem ocorrer no âmbito do transporte marítimo. Estes tipos de situações não são modeladas no sistema, pois são muito particulares, numerosas e ocorrem por motivos diversos. A modelagem destas situações agregaria pouco frente ao trabalho demandado para inserir todos estes novos parâmetros no modelo. Muitas vezes estas situações dependem de fatores externos à companhia, como a aceitação de um navio por um parceiro comercial; em outras são influenciadas por situações inesperadas como a quebra de um equipamento, o que permite a operação do navio em apenas alguns terminais; especificações técnicas dos equipamentos do navio também são fatores que podem influenciar na possibilidade de um navio operar em um determinado porto; além de restrições de calado, que podem variar conforme a maré e também influenciam na decisão de programação. Todos estes fatores são muito difíceis de serem modelados, pois isto traria lentidão para a utilização do SSD e demandaria muito trabalho manual para entrada de novos parâmetros e restrições no modelo. Neste sentido, entende-se que estas particularidades devem ser agregadas ao processo de programação através da análise e validação por parte de programadores experientes, que continuariam a programar os navios, mas com o auxílio de uma ferramenta para reduzir custos operacionais. Concluindo assim que, como alertado em Fagerholt (2004), a intervenção dos programadores é fundamental para a validação das programações do modelo.

Para exemplificar uma situação não modelada pelo SSD, o Apêndice B apresenta a programação da oitava instância indicada pelo SSD, exemplificando e detalhando a análise e validação da indicação do SSD pelo programador.

Se por um lado a experiência e a validação dos programadores são essenciais para a completa aplicação do SSD na atividade de programação, o SSD também traz novas perspectivas, com as quais os programadores não

estão habituados, quebrando certos paradigmas da programação de navios. A seguir são descritas algumas situações indicadas pelo SSD que, durante os testes, surpreenderam os programadores e contribuíram para alcançar um custo de transporte menor.

Uma programação incomum para os programadores foi a alocação de navios da frota controlada para viagens de exportação com destino na costa oeste da América do Norte e da América do Sul. Em três cargas para este destino, o modelo alocou navios da frota controlada, contrariando a programação e o raciocínio habitual dos programadores. Os programadores consideram este tipo de rota inadequado para navios da frota controlada, pois os destinos destas rotas ficam distantes de qualquer ponto de carregamento, o que obriga o navio a retornar sem carga para o Brasil ao término da operação. Além disso, o tempo de operação nestes destinos costuma ser muito longo, ultrapassando quinze dias em algumas operações. Portanto, para as cargas destinadas à costa oeste americana, os programadores têm o hábito de sempre alocar navios *spot*, salvo em situações inevitáveis para manter o nível de serviço ou evitar grandes sobrestadia de algum navio controlado. Porém, o valor do frete no mercado *spot*, para estes destinos também é muito caro, devido ao prêmio adicionado em relação ao frete praticado em outras rotas.

De forma análoga à situação anterior, uma rota em que os programadores têm por hábito alocar navios controlados é para cargas de exportação para o Caribe. Os portos de descarga naquela região costumam ter tempo de operação baixo e, como estão a uma distância relativamente pequena de pontos de carregamento potenciais na costa oeste da África, facilitam um reposicionamento para aquela região. Em algumas situações o modelo preferiu alocar um navio *spot* nesta rota, mais uma vez contrariando as indicações dos programadores. Uma das possíveis explicações para esta indicação é que o frete nesta rota é um dos mais baratos entre as rotas usualmente utilizadas em cargas de exportação e importação da companhia e, no caso de contratar um navio no mercado *spot*, o modelo pode ter optado por fazê-lo em uma rota mais econômica, novamente a fim de minimizar o custo total de operação.

Pode-se perceber que a escolha das melhores cargas a serem transportadas por navios *spot* foi decisiva para a redução de custos apresentada nos testes. Esta é uma grande vantagem da utilização do SSD, pois ao analisar todas as alternativas de alocação de navios, controlados ou *spot*, para atender

todas as cargas no horizonte de programação, o SSD indica as melhores cargas a serem transportadas por navios *spot*, ou seja, aquelas que transportadas por navios *spot* irão contribuir para reduzir o custo de transporte marítimo.

Conforme exemplificado acima e certificado nos testes, o modelo busca sempre a minimização dos custos, portanto em algumas ocasiões são apresentadas programações que contrariam a experiência dos programadores e apresentam alternativas não convencionais, segundo os padrões desenvolvidos pelos analistas. Os “vícios de programação” adotados pelos programadores são decorrentes da experiência adquirida ao longo dos anos e partem do pressuposto de que na maioria das vezes a alternativa habitual é melhor do que as alternativas não usuais. O problema é que isto nem sempre é verdade e, portanto, nas vezes em que a opção habitual não é a melhor, isto pode passar por despercebido pelo programador, que utiliza a programação “viciada” sem perceber que pode estar deixando de economizar em outras programações.