

5 Experimentos computacionais

O modelo matemático foi implementado no software de modelagem Aimms 3.9.1 utilizando o otimizador CPLEX 11.2. Para testar o modelo foram construídas três instâncias baseadas em dados reais fornecidos pela área de Logística da Petrobras. O modelo é então utilizado para resolver o problema destas instâncias considerando-se as diferentes vazões possíveis do duto OSPAR.

Ao testar o modelo com diferentes cenários, objetiva-se prever os resultados que decorrerão a depender das instâncias. A primeira instância retrata uma situação na qual o terminal e a refinaria estão relativamente bem estocados, e a sequência de chegada de navios é satisfatória para o atendimento à demanda e manutenção dos estoques do sistema. Já na segunda instância destaca-se que o estoque de petróleo pesado do terminal está baixo, e a projeção de chegada de navios de petróleo pesado indica uma reposição deste estoque não satisfatória de acordo com a demanda. Esta segunda instância foi um cenário que causou uma redução de carga da REPAR.

Tanto a primeira quanto a segunda instância contém dados para um horizonte de uma semana. A terceira instância é construída com dados de um mês, sendo que os dados da primeira semana são os mesmos dados da primeira instância.

A análise dos resultados será feita através da construção dos cenários comparando as soluções obtidas da mesma instância para cada vazão utilizada.

5.1. Definição dos parâmetros

Índices

- Períodos de tempo (k): o horizonte de tempo a ser considerado serão sete ou trinta dias, a depender do cenário. Os períodos de tempo serão seccionados em intervalos de tempo de 3 horas. A duração de

3 horas dos intervalos foi escolhida em razão da necessidade de representar o horário de ponta (das 18 às 21 horas).

- Produto (p): a simplificação admitida é a de que existem apenas duas classificações para os petróleos: leves e pesados.
- Trecho do duto (t): a definição do tamanho de lote está diretamente ligada à vazão do oleoduto. São três as possíveis vazões do OSPAR, a depender da configuração de bombas utilizadas:
 - Vazão Baixa: 750 m³ / hora
 - Vazão Média: 1.500 m³/hora
 - Vazão Alta: 2.060 m³/hora

Logo, para intervalos de tempo de 3 horas, o tamanho de lote será o triplo da vazão horária. Desta forma, a depender da vazão, o duto poderá ser dividido em determinado número de trechos. Para o caso da vazão média, o duto será discretizado em 11 seções, e para o caso da vazão alta, em 8 seções (conforme Tabela 5).

O modelo será utilizado para resolver as instâncias considerando os cenários das vazões média e alta. A vazão baixa de 750 m³/h será desconsiderada já que a oferta diária de bombeio (750 m³ * 24 horas = 18.000 m³) é insuficiente para atender a demanda diária da refinaria (30.000 m³).

Tabela 1 – Modelagem dos lotes no duto

| | Vazão | |
|-----------------------------------|-----------|----------|
| | Média | Alta |
| Vazão (m ³ /h) | 1.500 | 2.060 |
| Volume do duto (m ³) | 49.500 | 49.500 |
| Tamanho do lote (m ³) | 4.500 | 6.180 |
| Número de lotes | 11 | 8 |

Fonte: elaborada pela autora

Parâmetros

- Vol_lote e Nlote: o volume de lote e número de lotes irá variar de acordo com a vazão utilizada, conforme dados da Tabela 5.
- Volmax: a refinaria possui 8 tanques que totalizam 325.000 m³ de espaço operacional; ou seja, neste volume já estão descontados os lastros. Esta tancagem é usualmente dividida entre os petróleos leves e pesados, na proporção de 130.000 m³ para os leves e 195.000 m³ para os pesados. Esta será a capacidade máxima de tancagem na refinaria utilizada.
- Volmin: para a capacidade mínima de tancagem na refinaria serão utilizados os valores de estoque de segurança da refinaria, para não permitir que a solução do modelo zere o estoque da refinaria ao longo do horizonte de programação. Atualmente, o estoque de segurança da REPAR é o equivalente a 3 dias de consumo de cada tipo de petróleo. Logo, o parâmetro volmin será representado como 27.000 m³ para os petróleos leves e 63.000 m³ para os pesados.
- Volmin_term e volmax_term: o terminal possui 7 tanques usualmente divididos na proporção de 195.000 m³ de espaço para os petróleos pesados e de 150.000 m³ para os petróleos leves. Para o volume mínimo será considerado zero, ou seja, que os tanques do terminal podem estar vazios. Este conceito está alinhado com a idéia de evitar o desabastecimento da refinaria, ou seja, evitar que haja estoque no terminal por alguma restrição de estoque mínimo enquanto há espaço para recebimento na refinaria.
- Demanda, Volzero_ref, Volzero_term, Lotezero: os valores de volumes iniciais de cada petróleo na refinaria e terminal, demanda por tipo de petróleo e composição inicial do duto estão reunidos na Tabela 6.

Tabela 2 – Parâmetros de estoque e demanda das instâncias utilizadas

| Instância | Petróleo | Volzero_ref | Volzero_term | Demanda (m ³ /período) |
|-----------|----------|-------------|--------------|-----------------------------------|
| 1 | Leve | 42.000 | - | 1.125 |
| | Pesado | 106.000 | 100.000 | 2.625 |
| 2 | Leve | 38.000 | 40.000 | 1.125 |
| | Pesado | 108.000 | 45.000 | 2.625 |
| 3 | Leve | 42.000 | - | 1.125 |
| | Pesado | 106.000 | 100.000 | 2.625 |

Fonte: elaborada pela autora

- **Tarifa_energia:** o custo da demanda de energia utilizada é o resultado da multiplicação da tarifa de demanda em R\$/kw pela demanda em kw do OSPAR em horário de ponta. O custo foi obtido junto à Transpetro, e é de R\$150.000.
- **Vazao_navio, volume_navio, Tchegada, custo_navio:** os valores de volumes de cada petróleo a bordo de cada navio, o instante de chegada e a vazão de cada navio, e o respectivo custo estão reunidos na Tabela 7.

| Instância | Navio | Custo (R\$/período) | Tchegada | Vazão (m ³ /período) | | Volume | |
|-----------|-------|---------------------|----------|---------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|
| | | | | Petroleo Leve | Petroleo Pesado | Petroleo Leve | Petroleo Pesado |
| 1 | 1 | 9000 | 8 | | 25000 | | 75000 |
| | 2 | 9000 | 2 | 30000 | | 150000 | |
| | 3 | 9000 | 46 | | 25000 | | 150000 |
| 2 | 1 | 9000 | 11 | | 25000 | 150000 | |
| | 2 | 9000 | 31 | 25000 | | | 100000 |
| 3 | 1 | 9000 | 8 | | 25000 | | 75000 |
| | 2 | 9000 | 2 | 30000 | | 150000 | |
| | 3 | 9000 | 46 | | 25000 | | 150000 |
| | 4 | 9000 | 106 | 30000 | | 150000 | |
| | 5 | 9000 | 118 | | 25000 | | 75000 |
| | 6 | 9000 | 146 | | 25000 | | 75000 |
| | 7 | 9000 | 158 | | 25000 | | 75000 |
| | 8 | 9000 | 185 | | 25000 | | 75000 |
| | 9 | 9000 | 191 | | 25000 | | 50000 |
| | 10 | 9000 | 235 | 30000 | | 150000 | |

Tabela 3 – Parâmetros relativos a navios das instâncias utilizadas

Fonte: elaborada pela autora

De acordo com as Tabelas 6 e 7, nota-se que na primeira instância o estoque de petróleo pesado no terminal e refinaria equivale ao consumo de 40 períodos de tempo. O estoque de petróleo leve, no entanto está zerado no terminal, e a duração do estoque de leve na refinaria é de 37 períodos de tempo. Neste

cenário o primeiro navio de petróleo leve está previsto para chegar no período de tempo $k=2$.

Já na segunda instância o posicionamento de estoque de petróleo pesado do sistema (refinaria + terminal) é menor: enquanto o estoque da refinaria supre 40 períodos de tempo, o do terminal atende a somente 17 períodos de tempo. E neste cenário o navio que fará a reposição deste estoque de petróleo pesado somente tem previsão de chegada no período de tempo $k=31$.

A terceira instância contém dez navios no horizonte de *scheduling* considerado, e nota-se que o volume somado resultante do estoque a bordo dos navios que contém petróleo pesado supre a demanda de 220 períodos de tempo, enquanto que o estoque de petróleo leve que virá nestes navios supre a demanda de 400 períodos de tempo. Neste caso, onde o horizonte é de 240 períodos de tempo, haverá uma redução do estoque de petróleo pesado do sistema terminal e refinaria.

5.2. Soluções das Instâncias e Análise dos Resultados

Os dados das instâncias são fornecidos por uma planilha Excel, contendo matrizes com os parâmetros solicitados.

O modelo é utilizado para resolver três instâncias:

- 1^a instância: cenário de uma semana retratando situação de estoque na refinaria, terminal e projeção de chegada de navios confortável;
- 2^a instância: cenário de uma semana retratando situação de estoque na refinaria, terminal e projeção de chegada de navios desconfortável;
- 3^a instância: cenário de um mês retratando a mesma situação da 1^a. instância (uma semana) acrescida das próximas três semanas.

Para cada uma das três instâncias, serão rodados dois cenários:

- Cenário A: considera a vazão do duto de $1.500 \text{ m}^3/\text{hora}$;

- Cenário B: considera a vazão do duto de 2.060 m³/hora;

Será rodado também um cenário chamado de 1C, que será criado a partir do cenário 1A, com a consideração da alteração de um dos dados relativo ao parâmetro de chegada de navios.

A Tabela 8 indica o resumo das instâncias.

| Instância | Horizonte de tempo | Vazão do duto | |
|-----------|--------------------|------------------------|------------------------|
| | | 1500 m ³ /h | 2060 m ³ /h |
| 1A | 7 dias | X | |
| 2A | 7 dias | X | |
| 3A | 30 dias | X | |
| 1B | 7 dias | | X |
| 2B | 7 dias | | X |
| 3B | 30 dias | | X |
| 1C | 7 dias | X | |

Tabela 4 – Resumo das instâncias

Fonte: elaborada pela autora

5.2.1. Instância 1^a

Para o primeiro teste foi realizado uma análise de sensibilidade para determinar o valor a ser utilizado para o parâmetro f , que penaliza a redução de estoque da refinaria na função objetivo do modelo, e analogamente premia o aumento de estoque da refinaria.

Foram utilizados os valores de 10, 1, 0.1 e 0.01 para f no teste do modelo, com os dados dos parâmetros do cenário 1A. Em todas as opções, dos 56 intervalos representando os sete dias, houve bombeio em 49. O duto somente parou nos 7 intervalos que fazem parte do horário de ponta. Sendo assim, para todos os valores de f houve aumento do estoque na refinaria, conforme Tabela 9, condizente com a lógica do modelo.

Desta forma, o valor a ser utilizado para f será de 0.1 para os próximos testes. A escolha deste valor é feita considerando que a ordem de grandeza do prêmio por acúmulo de estoque não pode ser maior do que o valor referente aos

custos de estadia de navios ou custos de demanda de energia para funcionamento do duto fora do horário de ponta. O significado físico neste caso é de que o valor da unidade adicional de estoque na refinaria é de R\$0.1/m³.

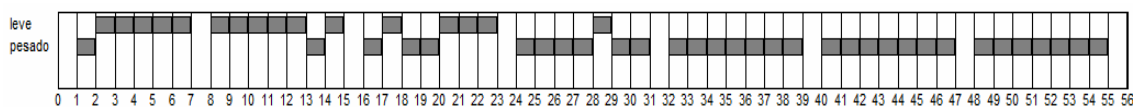
Tabela 5 – Análise de sensibilidade para o valor de f – cenário 1A

| f | F.O. (R\$) | Número de Bombeios | | Delta Estoque Refinaria (estoque final - inicial) |
|--------|------------|--------------------------|------------------|--|
| | | fora do horário de ponta | horário de ponta | |
| f=10 | 21000 | 49 | 0 | 9750 |
| f=1 | 115500 | 49 | 0 | 9750 |
| f=0.1 | 124950 | 49 | 0 | 9750 |
| f=0.01 | 125895 | 49 | 0 | 9750 |

Fonte: elaborada pela autora

Para o cenário 1A, com o valor de f fixado em 1, a solução ótima foi encontrada com um tempo de 0.5 segundo. A sequência de bombeio que deve ser executada no terminal ao longo dos 7 dias para a refinaria está na Figura 8. De maneira análoga, também é saída do modelo os itens de petróleo que a refinaria deve receber a cada instante de tempo k.

Figura 8 – Sequência de bombeio



Fonte: elaborada pela autora

Todos os navios foram atracados no momento de sua chegada, não havendo custos de sobrestadia de navios, conforme Tabela 10.

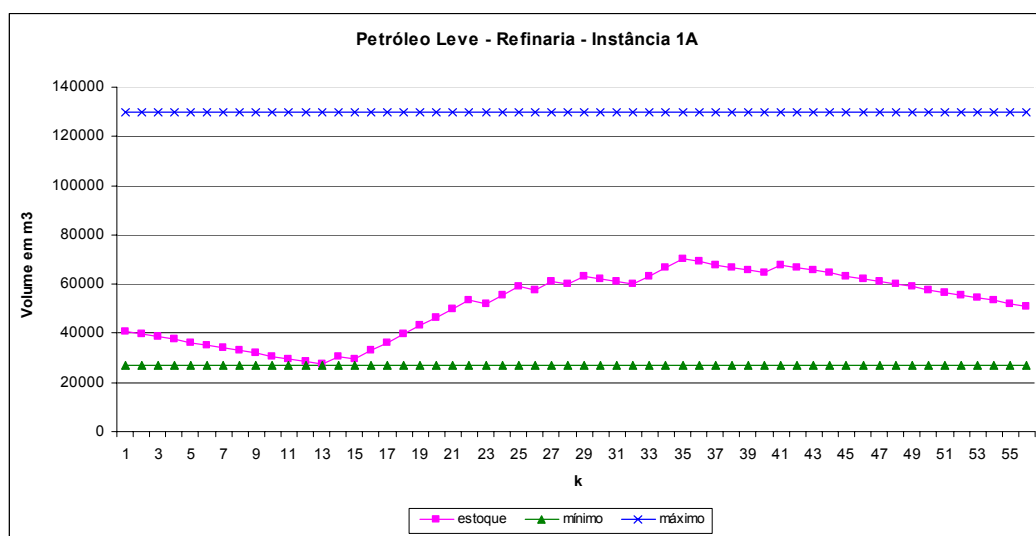
| Navio | Chegada | Atracação |
|-------|---------|-----------|
| 1 | 2 | 2 |
| 2 | 8 | 8 |
| 3 | 46 | 46 |

Tabela 10 – Resultado da instância 1A

Fonte: elaborada pela autora

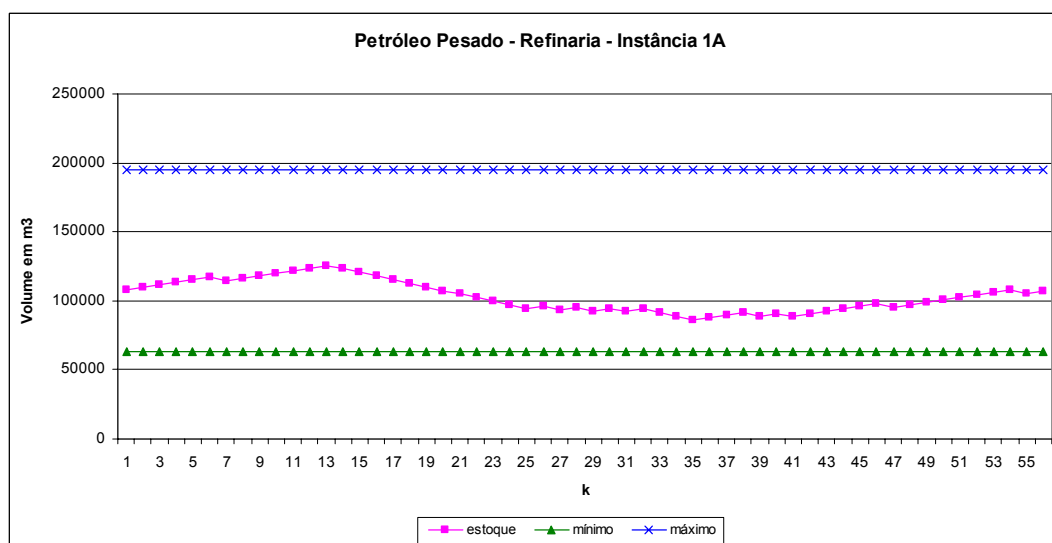
Nesta instância não houve necessidade de bombear durante o horário de ponta, e pode-se perceber que o estoque da refinaria manteve-se dentro dos limites de capacidade máximo e mínimo, conforme Figuras 9 e 10. Interessante ressaltar que para o petróleo leve, o estoque chegou a estar muito próximo da faixa de valor mínimo, conforme gráfico da Figura 9. Isto demonstra que a data de chegada do lote de petróleo leve (segundo navio que chega em $k=2$) já está bastante justa, e que havendo algum atraso do navio haverá risco de operar a refinaria com estoque de petróleo leve abaixo do mínimo ou até mesmo redução de carga da refinaria.

Figura 9 – Projeção de estoque de petróleo leve na refinaria – resultado da instância 1A



Fonte: elaborada pela autora

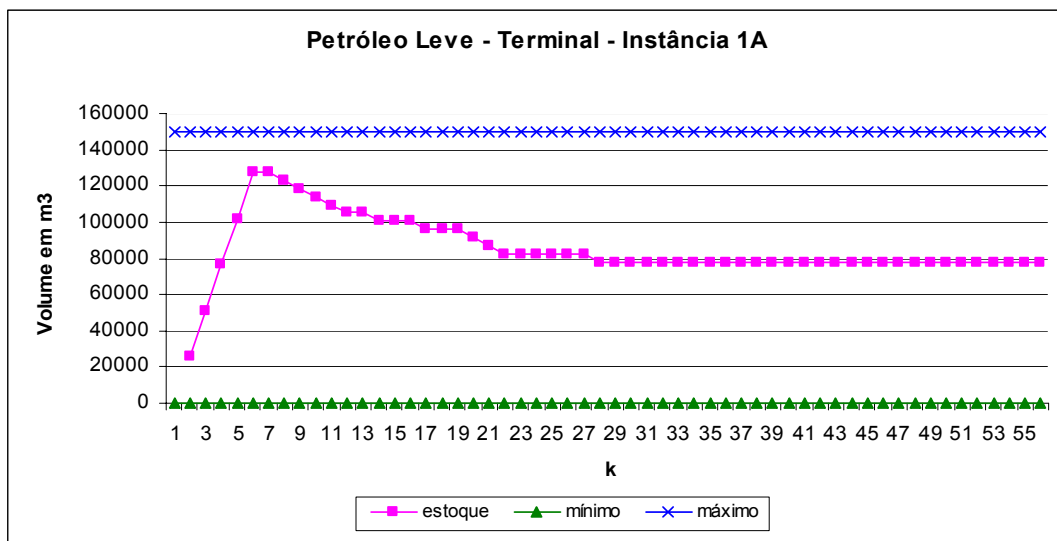
Figura 10 – Projeção de estoque de petróleo pesado na refinaria – resultado da instância 1ª



Fonte: elaborada pela autora

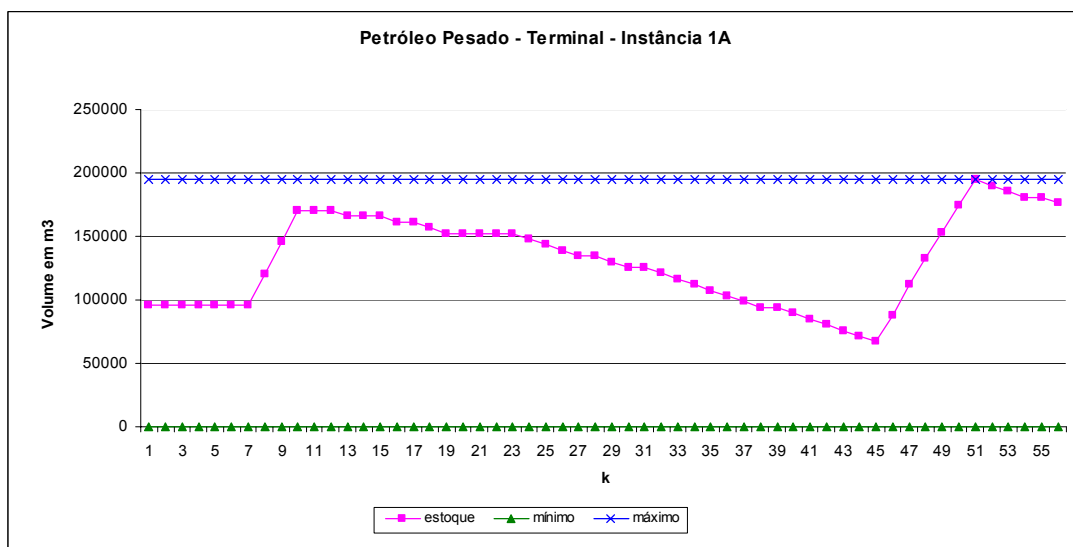
Como pode ser observado na Figura 11, o estoque de petróleo leve no terminal mantém-se constante a partir do período 28. Conforme Figura 12, nota-se que deste período em diante a saída do modelo dá preferência a bombear o petróleo pesado do terminal para a refinaria, e verifica-se que o estoque de petróleo pesado no terminal diminui gradativamente até o período 45, indicando o bombeio do petróleo pesado para a refinaria. A partir do período 46, com a chegada de um navio com petróleo pesado a bordo, o estoque deste petróleo no terminal volta a subir, chegando a tangenciar o limite máximo de tancagem.

Figura 11 – Projeção de estoque de petróleo leve no terminal – resultado da instância 1A



Fonte: elaborada pela autora

Figura 12 - Projeção de estoque de petróleo pesado no terminal – resultado da instância 1A



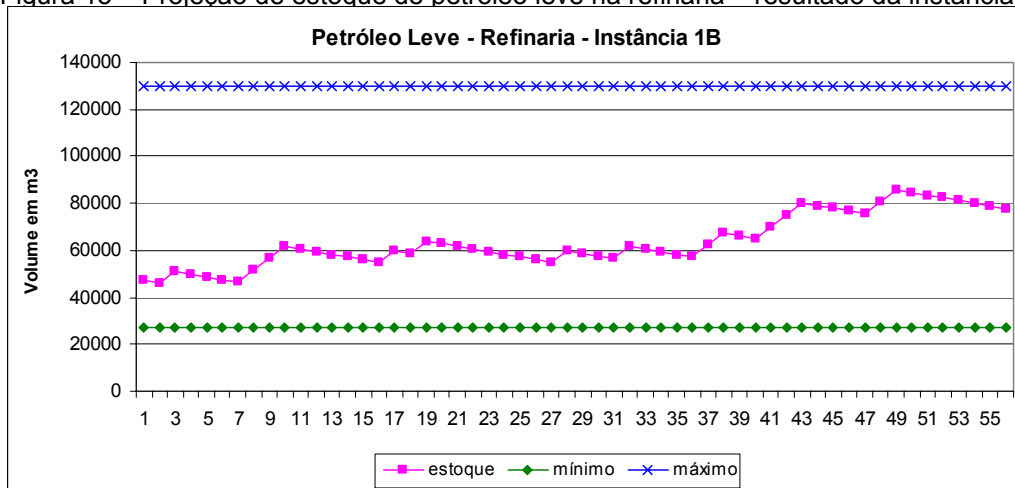
Fonte: elaborada pela autora

5.2.2. Instância 1B

Ao utilizar os mesmos dados da instância 1A, e alterar a vazão do duto para a configuração de bombas que permite bombear com vazão maior, de 2.060 m³/hora, o resultado do modelo mantém o número de bombas igual ao da instância 1A, e da mesma forma para o duto durante o horário de ponta.

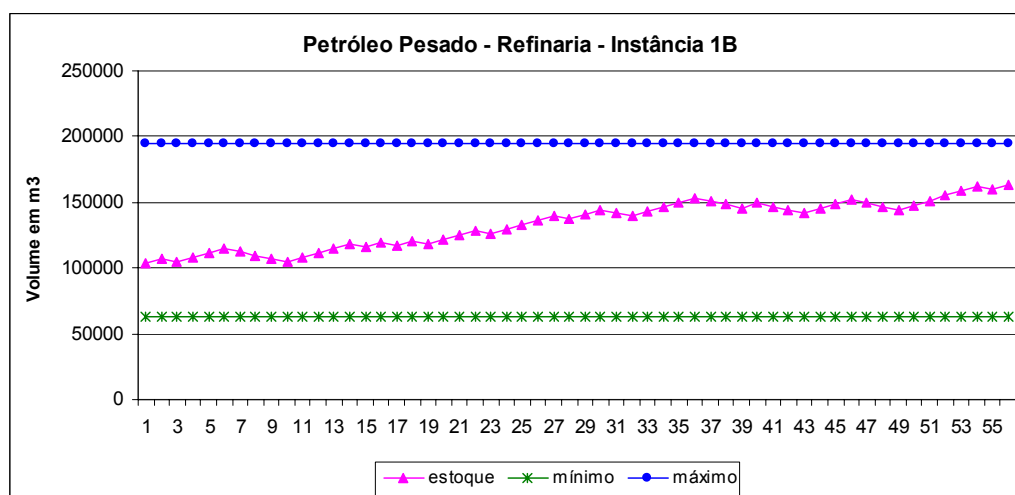
A diferença entre os cenários 1A e 1B está na velocidade de recomposição de estoques da refinaria. Conforme os gráficos das Figuras 13 e 14, ao bombear com maior vazão, o estoque da refinaria ao final do horizonte de planejamento está substancialmente maior (aumento de 60%).

Figura 13 – Projeção de estoque de petróleo leve na refinaria – resultado da instância 1B



Fonte: elaborada pela autora

Figura 14 - Projeção de estoque de petróleo pesado na refinaria – resultado da instância 1B



Fonte: elaborada pela autora

Conclui-se que é válido o bombeio com vazão maior. Ao planejar a programação semanal do duto através do modelo, nota-se que com a vazão de 2.060 m³/hora, a F.O. do modelo é consideravelmente menor do que na instância 1A (com vazão menor, de 1.500 m³/hora). A F.O. da instância 1B, conforme Tabela 11, é de 116.718 R\$, ao passo que a F.O. da instância 1A foi de 124.950 R\$, conforme Tabela 9. Este valor menor da F.O. é resultante do fato do acúmulo de estoque na refinaria ser de 90.390 m³ (conforme Tabela 11), quase dez vezes maior que o acúmulo resultante da instância 1A, de 9.750 m³ (conforme Tabela 9).

Um resultado do modelo valioso para o programador é a saída que informa ser necessário ou não programar o bombeio com vazão alta, ao longo do período de tempo determinado.

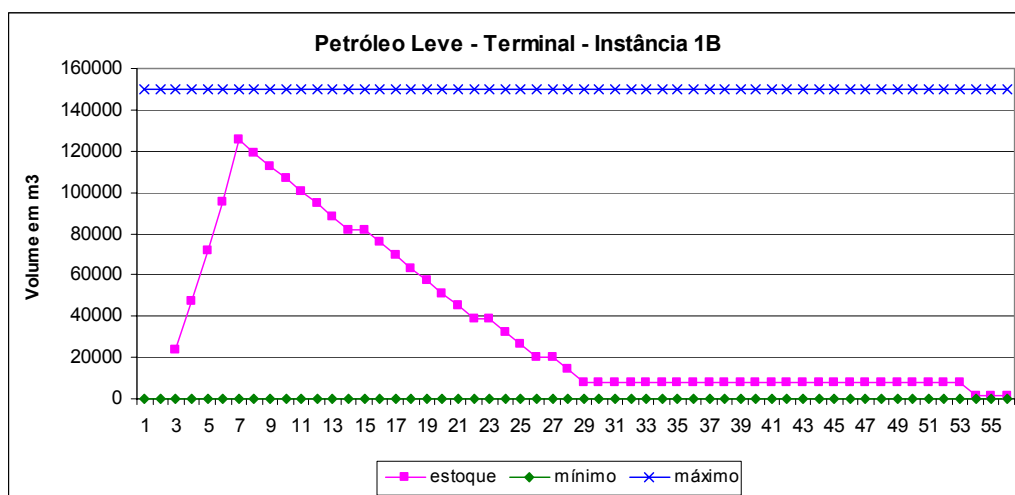
Tabela 11 – Resultados da instância 1B

| f | F.O. (R\$) | Número de Bombeios | | Delta Estoque Refinaria (estoque final - inicial) |
|-------|------------|--------------------------|------------------|---|
| | | fora do horário de ponta | horário de ponta | |
| f=0.1 | 116718 | 49 | 0 | 90390 |

Fonte: elaborada pela autora

Nota-se que na Figura 15 o estoque de petróleo leve no terminal é reduzido quase a zero. Comparando esta instância 1B com a instância 1A percebe-se que houve bombeio de maior volume do petróleo leve, transferindo todo o estoque leve do terminal para o duto/refinaria. O aumento da vazão da instância 1B em relação à instância 1A proporciona um ganho na capacidade de transferência do duto, que de acordo com a saída proposta pelo modelo, foi utilizada principalmente para reduzir o estoque de petróleo leve do terminal.

Figura 15 - Projeção de estoque de petróleo leve no terminal – resultado da instância 1B



Fonte: elaborada pela autora

5.2.3. Instância 2ª

A instância 2A foi construída com dados de chegada de navios, estoque inicial de petróleo no terminal, refinaria e duto de um cenário em que houve redução de carga na refinaria pois as ofertas de petróleo dos navios não atendiam a demanda com aquele estoque já existente nas localidades.

Nesta instância a vazão do duto é a baixa, de 1.500 m³/hora, o que minimiza a recomposição dos estoques que estão baixos (70 períodos de tempo para o

petróleo leve, considerando estoques de terminal e refinaria, e 60 períodos de tempo para o petróleo pesado).

A solução do modelo para esta instância foi inviável. Foram realizadas 937 iterações em um intervalo de tempo de apenas 1.5 segundo para que o resultado da solução inviável fosse dado.

Este é um caso em que o modelo apóia o programador a visualizar que haverá problemas em manter a carga das unidades de refino num dado horizonte de tempo, e possa antecipadamente começar a buscar alternativas para impedir que o suprimento de petróleo a refinaria seja interrompido. Tais alternativas podem incluir a alteração da sequência de chegada de navios (quando possível), alteração da composição do elenco da carga da refinaria (aumento do percentual de petróleo leve), ou até mesmo uma redução de carga da refinaria para um patamar ao longo do horizonte de tempo que pudesse amortecer uma redução brusca repentina. Deve-se evitar reduções bruscas pois podem culminar em produção de um volume significável de derivados de petróleo fora dos padrões de qualidade necessários para comercialização e entrega para o cliente final.

5.2.4. Instância 2B

A instância 2B considera os mesmos dados dos parâmetros da 2A, sendo que neste caso a vazão do duto é maior, de 2.060 m³/hora.

Para esta instância o modelo acha uma solução ótima, possibilitando a elaboração de uma programação de movimentação do petróleo que mantenha a refinaria operando sem interrupções no recebimento de sua matéria-prima.

Conforme nota-se na Tabela 12, o resultado do modelo para esta instância indica o bombeio somente nos horários fora-de-ponta. A indicação para atracação para todos os navios é do mesmo momento de sua chegada.

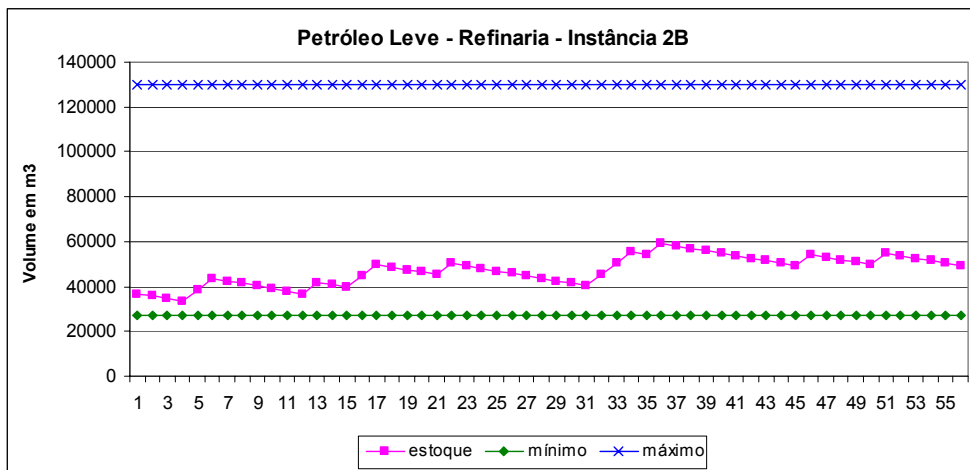
Tabela 62 – Resultados da instância 2B

| f | F.O. (R\$) | Número de Bombeios | | Delta Estoque Refinaria (estoque final - inicial) |
|-------|------------|--------------------------|------------------|---|
| | | fora do horário de ponta | horário de ponta | |
| f=0.1 | 80718 | 49 | 0 | 90390 |

Fonte: elaborada pela autora

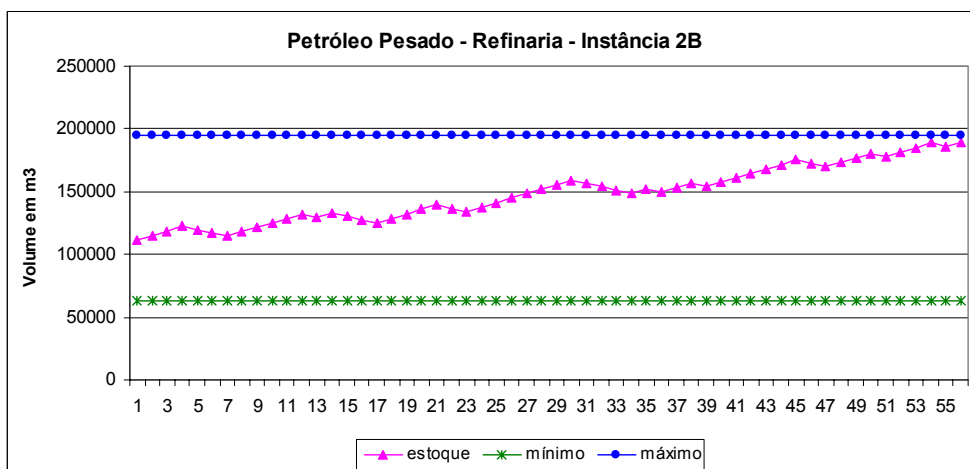
Nota-se na Figura 16 que o estoque de petróleo leve na refinaria mantém-se perto do limite mínimo, mas estável, enquanto que o estoque de petróleo pesado ao final do horizonte de programação é recomposto quase que em dobro.

Figura 16 – Projeção de estoque de petróleo leve na refinaria – resultado da instância 2B



Fonte: elaborada pela autora

Figura 17 - Projeção de estoque de petróleo pesado na refinaria – resultado da instância 2B



Fonte: elaborada pela autora

5.2.5. Instância 3^a

Esta instância considera para o horizonte de programação um período de 30 dias. Neste ínterim, existem 10 chegadas de navios, sendo 3 de petróleo leve e 7 de petróleo pesado. A vazão do duto utilizada para esta instância é de 1.500 m³/hora.

Para este cenário houve uma solução ótima encontrada pelo modelo. O resultado indica bombeio em 193 períodos de tempo, dos 240 considerados, sendo que nenhum em horário fora-de-ponta. Conforme pode-se notar na Tabela 13, houve redução do estoque na refinaria ao final do horizonte considerado.

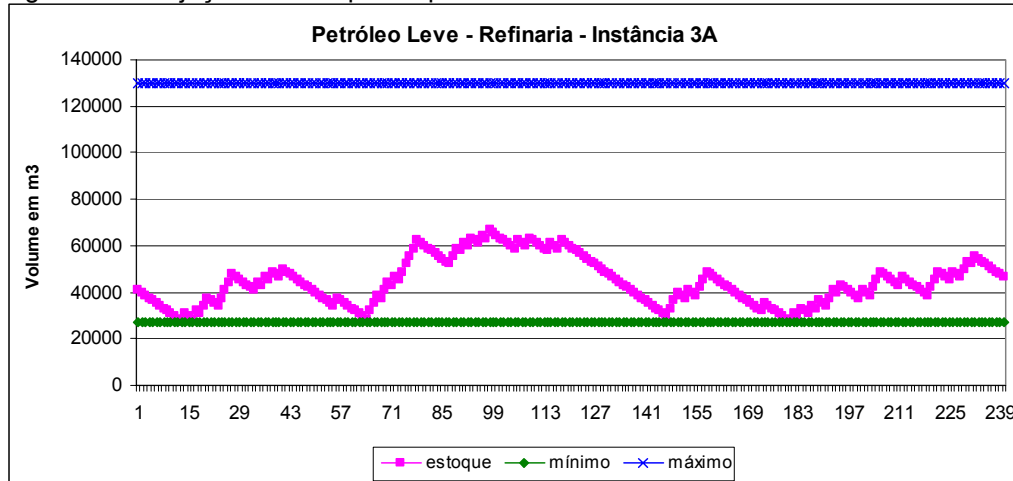
Tabela 13 – Resultados da instância 3A

| f | F.O. (R\$) | Número de Bombeios | | Delta Estoque Refinaria (estoque final - inicial) |
|-------|------------|-----------------------------|------------------|--|
| | | fora do horário de ponta | horário de ponta | |
| f=0.1 | 340950 | 193 | 0 | -32250 |

Fonte: elaborada pela autora

Como pode se observar na Figura 18, o estoque de petróleo leve tende a ficar próximo do limite mínimo da refinaria em quatro momentos: nos períodos de tempo 13, 64, 147 e 181. Interessante notar que no caso do petróleo leve, ao final do período observado, o estoque está maior em 5.625 m³ em relação ao período inicial.

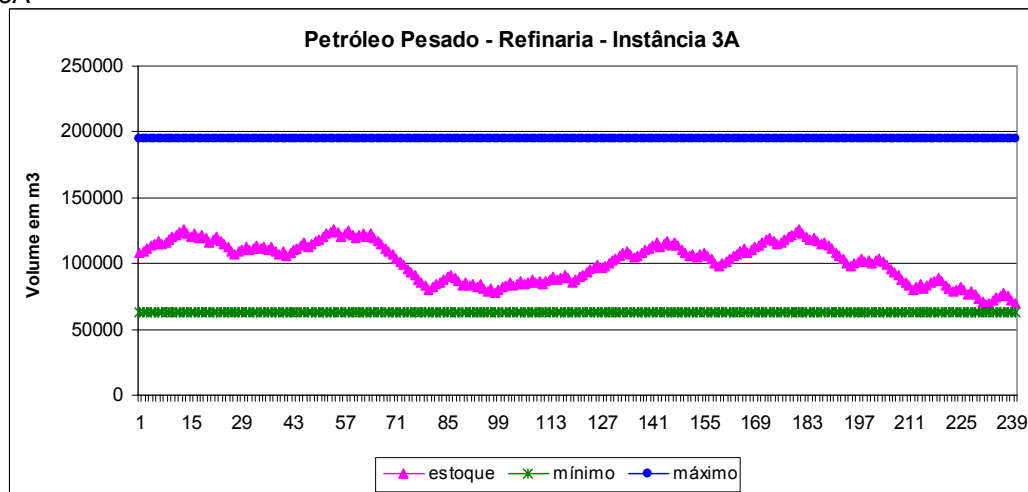
Figura 18 - Projeção de estoque de petróleo leve na refinaria – resultado da instância 3A



Fonte:elaborada pela autora

De acordo com a Figura 19, pode-se notar que a redução de estoque total na refinaria ocorre em consequência do petróleo pesado, que no período final está próximo ao estoque mínimo da refinaria.

Figura 19 - Projeção de estoque de petróleo pesado na refinaria – resultado da instância 3A



Fonte:elaborada pela autora

Neste cenário, por tratar-se de um horizonte de programação de 30 dias, existe maior flexibilidade por parte do programador para rever parâmetros de entrada, tais quais sequência de chegada de navios, volumes de petróleo a bordo de cada navio e vazão de bombeio de modo a atender a demanda da refinaria respeitando as restrições de limite máximo e mínimo de tancagem.

5.2.6. Instância 3B

A instância 3B considera os mesmos dados de parâmetros da 3A, porém com vazão do duto maior, de 2.060 m³/hora.

Neste cenário houve resultado de solução ótima pelo modelo matemático, e a indicação foi de não bombear no horário de ponta. Dos 210 períodos fora do horário de ponta, houve bombeio em 157. Todos os navios foram atracados no momento da chegada, e houve acúmulo de estoque na refinaria de 67.830 m³, conforme Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados da instância 3B

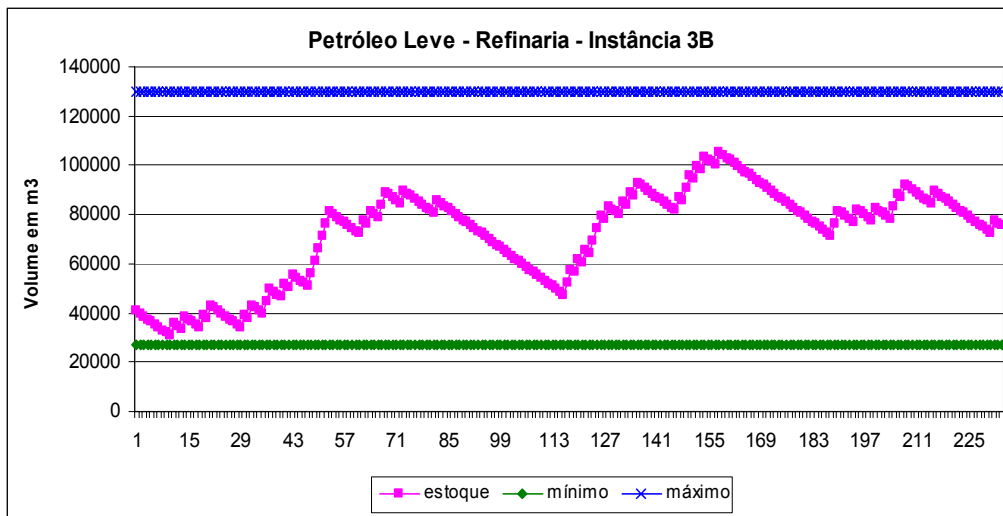
| f | F.O. (R\$) | Número de Bombeios | | Delta Estoque Refinaria (estoque final - inicial) |
|-------|------------|-----------------------------|------------------|--|
| | | fora do horário de ponta | horário de ponta | |
| f=0.1 | 332718 | 157 | 0 | 67830 |

Fonte: elaborada pela autora

Apesar do horizonte de 30 dias, o modelo solucionou esta instância em apenas 80 segundos.

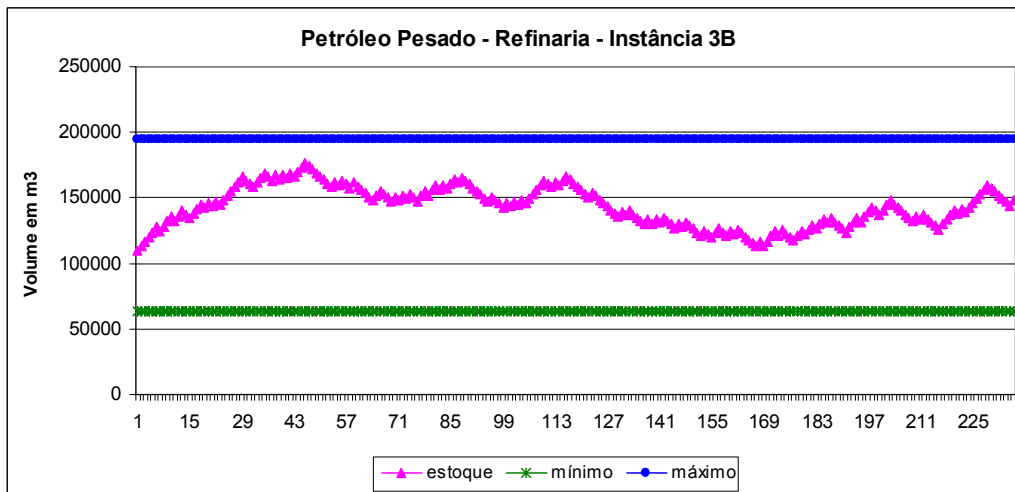
De acordo com a Figura 20, pode-se observar que durante o período de um mês o estoque de petróleo leve projetado estará próximo do limite mínimo da refinaria em dois momentos, nos períodos de tempo 10 e 29. Já o estoque de petróleo pesado projetado na refinaria mantém-se num patamar estável sem aproximar-se dos limites mínimo ou máximo, conforme a Figura 21.

Figura 20 - Projeção de estoque de petróleo leve na refinaria – resultado da instância 3B



Fonte: elaborada pela autora

Figura 21 - Projeção de estoque de petróleo pesado na refinaria – resultado da instância 3B



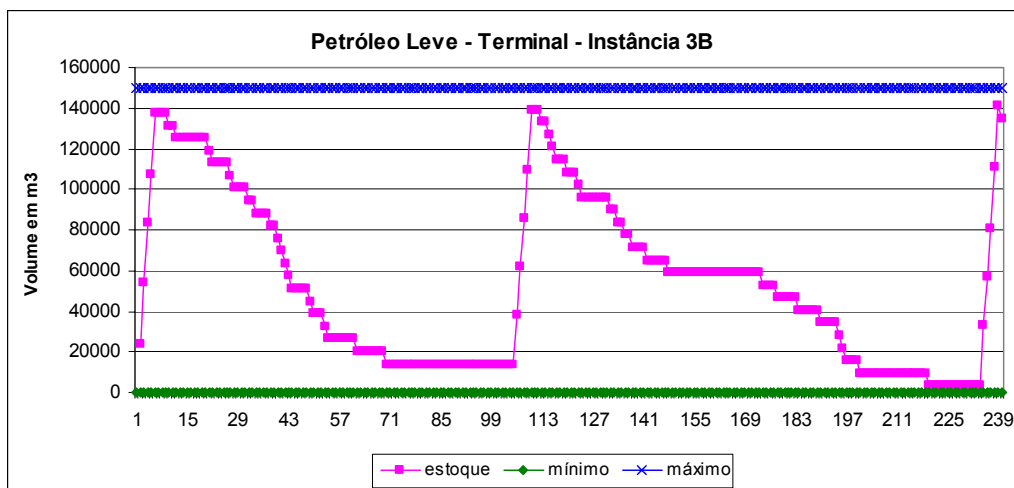
Fonte: elaborada pela autora

Como pode se observar na Figura 22, existem três picos de estoque de petróleo leve no terminal, resultantes das descargas dos três navios de petróleo leve. As chegadas dos navios são nos períodos de tempo 2, 106 e 235.

A partir do período de tempo 70, o estoque de petróleo leve no terminal está baixo e mantém-se constante até a chegada do próximo navio, no período 106. A análise da Figura 20, que retrata o estoque de petróleo leve na refinaria, demonstra

que o estoque na refinaria manteve-se acima do limite mínimo durante todo o período da programação. Logo, a sequência de chegada de navios está adequada para a garantia do suprimento à refinaria.

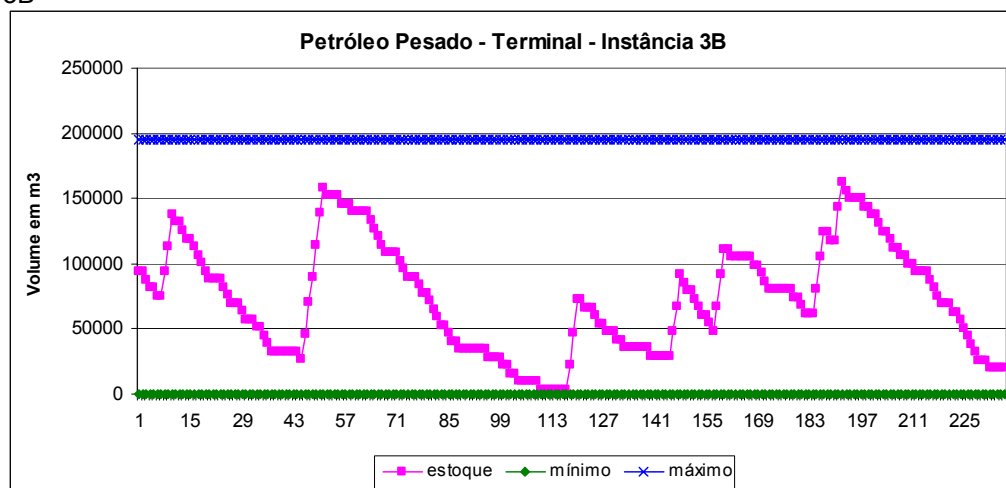
Figura 22 - Projeção de estoque de petróleo leve no terminal – resultado da instância 3B



Fonte: elaborada pela autora

Na Figura 23, observa-se que a curva de estoque projetado de petróleo pesado no terminal está, na maior parte do tempo, abaixo da capacidade média de tancagem do terminal. O estoque atinge o menor nível entre os períodos 110 a 117. Após estes períodos o terminal recebe uma sequência de descargas de 5 navios, dos períodos 118 a 191 que resultam em um nível mais alto de estoque no período 192. Interessante notar, que com a variação do estoque de petróleo pesado no terminal, o suprimento para a refinaria é feito respeitando o estoque mínimo necessário, e o limite máximo de tancagem, conforme Figura 19.

Figura 23 - Projeção de estoque de petróleo pesado no terminal – resultado da instância 3B



Fonte: elaborada pela autora

5.2.7. Instância 1C

Considerando o cenário da instância 1A, ao atrasar a chegada do navio de petróleo leve do instante de tempo 2 para 3, e rodar o modelo novamente, o resultado do bombeio ou não em horário de ponta é modificado. Neste cenário modificado, chamado de 1C, devido ao atraso do navio e para manter o suprimento da refinaria e evitar a redução de carga por falta de petróleo leve, a saída do modelo opta por bombear em horário de ponta.

Na Tabela 15 estão os resultados da instância 1C (1A considerando o atraso da chegada do único navio de petróleo leve). Além destes resultados, a indicação do modelo foi de atracar todos os navios no momento de sua chegada. Pode-se observar que, uma vez que a decisão de bombear no horário de ponta é tomada, a indicação do modelo é de bombear neste horário de ponta em todos os 7 dias do horizonte.

O custo resultante da função objetivo é, logicamente, mais alto que o da instância 1A original, pois neste caso ocorre o pagamento da taxa correspondente a demanda de energia em horário de ponta. Parte deste custo é atenuado pelo acúmulo de estoque de 41.250 m³.

Tabela 15 – Resultados da instância 1C (1A modificada)

| f | F.O. (R\$) | Número de Bombeios | | Delta Estoque Refinaria (estoque final - inicial) |
|-------|------------|-----------------------------|------------------|--|
| | | fora do horário de ponta | horário de ponta | |
| f=0.1 | 271800 | 49 | 7 | 41250 |

Fonte: elaborada pela autora

Neste contexto está um grande valor que a utilização deste modelo pode prover ao programador: conferir previsibilidade, mostrando que com os parâmetros de chegada de navios e estoque atuais, será necessário utilizar o duto em horário de ponta.