

Determinação da faixa da taxa de ocupação dos berços de uma base de dutos flexíveis que minimize os custos operacionais

Pedro Chaves Meurer Moreira (COPPE/UFRJ) pedro.chaves@pet.coppe.ufrj.br

Hostilio Xavier Rattton Neto (COPPE/UFRJ) hostilio@pet.coppe.ufrj.br

Pedro Henrique Maciel Lopes (Petrobras) pedro.lopes@petrobras.com.br

Resumo:

Em cenários políticos e econômicos nos quais o preço do barril do petróleo esteja em patamares baixos, as empresas do setor adotam estratégias sustentáveis para manter os seus volumes de produção de petróleo reduzindo investimentos e custos operacionais. Na indústria *offshore*, a interligação de poços submarinos é crucial para a produção. Essa atividade pode ser realizada por meio de dutos flexíveis, os quais são instalados por embarcações especializadas conhecidas como *Pipe Lay Support Vessels* (PLSVs). Neste artigo, apresenta-se um modelo de simulação de filas para uma base portuária de dutos flexíveis. O objetivo foi determinar a faixa da taxa de ocupação dos berços que minimizasse os custos operacionais. Os resultados mostram que os custos operacionais mínimos correspondem a valores de taxa de ocupação contidos em uma faixa entre 40% e 60%.

Palavras chave: Taxa de ocupação, Pipe lay support vessels, Teoria de filas, Simulação.

Determination of the berth occupancy rate of a flexible pipeline supply base that minimize the operational costs

Abstract

Economic and political scenarios where the barrel prices are low in the international market force the oil companies to build sustainable strategies in order to maintain the production rates while reducing investments and operational costs. In the offshore industry, the installation of subsea pipelines is extremely important to the production of oil and gas. This activity can be executed using flexible pipelines and require a specialized vessel known as Pipe Lay Support Vessel (PLSV). This paper presents a queue simulation model for a flexible pipeline base. The aim was to estimate berth occupancy rate that minimize the operational cost. The results show that the minimum operational cost corresponds to a berth occupancy rate between 40% and 60%.

Key-words: Occupancy rate, Pipe lay support vessels, Queuing theory, Simulation.

1. Introdução

Interligação é a operação de conectar o poço submarino até a plataforma de produção. Em muitos casos, a distância entre ambos pode ser de quilômetros. Portanto, utiliza-se um duto para realizar a conexão.

Os dutos podem ser rígidos ou flexíveis. Por serem mais versáteis do que os rígidos, os dutos flexíveis vêm sendo amplamente utilizados na indústria *offshore* no Brasil desde a descoberta de óleo na Bacia de Campos (BICUDO, 2009).

As operações de movimentação, transporte marítimo e instalação dos equipamentos necessários ao desenvolvimento de um sistema de produção submarino demandam embarcações especializadas e de alto valor. No caso dos dutos flexíveis, a embarcação utilizada é o *Pipe Lay Support Vessel* (PLSV).

Os dutos flexíveis são armazenados nas bases de apoio. Além de servir para armazenar os dutos em terra, as bases de apoio são terminais portuários utilizados para carregá-los nos PLSVs, para que essas embarcações possam realizar as operações de interligação.

Se por um lado as operações de interligação de dutos custam caro, por outro, as empresas de petróleo enfrentam desafios em realizar a gestão de seus projetos reduzindo os investimentos e custos operacionais. Essa dificuldade torna-se mais evidente em cenários nos quais o preço do barril de petróleo esteja em queda no mercado.

Nesse contexto de demanda por interligações com restrição orçamentária, o objetivo deste artigo foi determinar a faixa da taxa de ocupação dos berços de uma base de dutos flexíveis que minimize os custos operacionais.

De acordo com Yusuf et al. (2013), dentre os conceitos de sustentabilidade, existe aquele que se refere a utilização de recursos de forma eficiente com o intuito de produzir efeitos positivos a longo prazo. Os autores ainda afirmam que, sob a ótica das organizações, essa maneira de atuar implica no uso consciente dos recursos visando garantir a existência da empresa a longo prazo e lucros no negócio. Assim, o artigo tem o intuito de auxiliar as companhias do setor a operarem de forma sustentável garantindo processos eficientes a custos reduzidos na área de serviços de Exploração e Produção (E&P).

O acervo de estudos acadêmicos não é abundante na área de serviços de E&P. Conforme observado por Kaiser (2010), a logística de apoio *offshore* pode ser citada como exemplo do setor que não é extensamente abordado na literatura acadêmica. Adicionalmente, Leite (2012) constata que muito do conhecimento logístico adquirido pelas empresas é de origem empírica. Dessa forma, este artigo também visa a contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico na área de serviços de E&P com procedimento proposto e empregado para a simulação da ocupação dos berços da base de dutos flexíveis pelos PLSVs.

2. Contextualização

2.1. Viagem PLSV

Os PLSVs realizam diversas viagens ao longo do ano para realizar as interligações dos dutos flexíveis. A viagem tem início no momento em que a embarcação, que se encontrava no fundeio, se dirige para atracar no terminal portuário. A atracação se dá quando existem demanda por serviço e pelo menos um berço livre.

O tempo de navegação entre o fundeio e a base pode variar de acordo com diversos fatores tais como proximidade física, limites de velocidades de navegação, existência e congestionamento do canal de acesso, aguardo de práticos ou de maré favorável para a navegação, entre outros.

Uma vez atracada, a embarcação está pronta para iniciar a operação na base. A operação principal dos PLSVs é o carregamento e descarregamento de dutos flexíveis. Também podem ocorrer o abastecimento de água e diesel, carregamento e descarregamento de materiais, equipamentos e alimentos e até trocas de turma. No entanto, com exceção das operações com os dutos, essas outras atividades também ocorrem quando a embarcação está na bacia.

Quando a operação portuária é concluída, a embarcação começa o procedimento de desatracação. Assim como na atracação, esse tempo pode variar de acordo com alguns dos fatores já citados anteriormente. O período entre a atracação e desatracação compõe o tempo de operação portuária.

Finalizada a desatracação, a embarcação parte em direção a bacia para fazer os serviços de interligação das linhas flexíveis. Uma vez concluída a sua operação, a embarcação retorna ao fundeio da base, onde aguarda para realizar a próxima viagem.

O período entre a saída da base e retorno de uma embarcação ao fundeio compõe o tempo de viagem marítima. Esses tempos estão sujeitos a grandes variabilidades em função de inúmeros fatores como condições ambientais, mudanças de prioridades ao longo da viagem, surgimento de dificuldades operacionais não previstas, entre outros.

2.2.Importância da determinação da faixa da taxa de ocupação

Segundo Basso (2015), variações da economia mundial afetam a oferta e a demanda de petróleo, que por sua vez influenciam diretamente no dimensionamento dos recursos envolvidos. Nesse contexto, a determinação de uma faixa da taxa de ocupação portuária que minimize os custos operacionais justifica-se pois dificilmente a empresa conseguirá dimensionar seus recursos para operar com o custo mínimo a todo o momento.

Além disso, a determinação de uma faixa também oferece maior liberdade às empresas de petróleo no que tange às suas decisões estratégicas visando uma operação sustentável. Por um lado, a empresa pode optar por trabalhar com maior folga operacional quando opera em uma taxa de ocupação mais baixa. Por outro, quando não se tem uma oferta portuária abundante, a única solução para a diminuição da taxa de ocupação pode ser a construção de novos berços. Em casos de picos de demanda de curta duração, o aumento da capacidade portuária pode não se justificar, podendo-se operar com uma taxa de ocupação mais alta.

Por fim, em alguns casos na indústria *offshore*, os tempos envolvidos na contratação e vigência dos contratos podem ser extremamente longos. Como a demanda pode variar de forma mais rápida do que os tempos envolvidos nos contratos, torna-se muito difícil garantir sempre a operação na taxa de ocupação em que o custo é mínimo.

3. Referencial Teórico

3.1. Indústria do petróleo

As atividades de Exploração e Produção *offshore* envolvem altos graus de incerteza tanto no que diz respeito às operações das unidades marítimas, quanto nas atividades das embarcações de apoio. Aronofsky (1962) já reconhecia a relevância do uso de abordagens de pesquisa operacional na indústria do petróleo. O autor destaca o uso da programação inteira para resolver os problemas de gestão, em particular os de programação de sondas de perfuração, visando operações de Exploração e Produção mais lucrativas.

Ainda com relação às operações das unidades marítimas, Bassi et al. (2012) apresentam um método de simulação-otimização para lidar com o problema de planejamento, programação e dimensionamento da frota de sondas *offshore*. Segundo os autores, essa é a primeira abordagem estocástica para estudar esse tipo de problema. Os resultados apontam para aumento de eficiência logística no que tange às operações com sondas. Os ganhos não são apenas financeiros devido a diminuição do custo de transporte e aumento da produtividade, mas também na redução do tempo de planejamento, dos erros de programação, além do modelo poder ser usado como ferramenta de apoio à decisão.

No que tange às atividades de serviços de E&P, Shyshou et al. (2010) utilizam um modelo de simulação de eventos discretos para determinar o tamanho da frota de embarcações *Anchor-Handling Tug Supply (AHTS)*. Essas embarcações são utilizadas para movimentar sondas de uma locação para outra, de acordo com o cronograma de atividades que devem ser realizados nos poços. Como o cronograma de cada sonda é realizado de forma independente, existe a possibilidade de que a demanda por movimentações ocorra de forma simultânea. Ademais, as operações dos AHTS estão sujeitas a condições ambientais estocásticas aumentando o grau de complexidade na programação e planejamento das atividades.

Maisiuk e Gribkovskaia (2014) também propõem um modelo de simulação de eventos discretos para determinar o tamanho da frota de embarcações de apoio *offshore*. Afirmam que operações associadas a movimentos de sonda são de natureza completamente diferente das atividades realizadas pelas embarcações de apoio *offshore*. Essas últimas têm como objetivo entregar a carga para as unidades marítimas e realizam um serviço periódico respeitando um cronograma semanal. No entanto, destacam que a execução do cronograma semanal é afetada pela estocasticidade das condições climáticas que, por sua vez, influenciam os tempos de navegação e de serviços nas unidades marítimas. A decisão do número de embarcações a serem contratadas para as operações futuras tem uma forte influência econômica das empresas.

Almeida (2009) utiliza um algoritmo genético para maximizar o nível de serviço e minimizar os custos. O algoritmo realiza duas rodadas: Na primeira nenhuma carga pode ser entregue em atraso. Já na segunda, admite-se o atraso de alguma carga de acordo com o nível de serviço requerido por cada unidade marítima. O modelo considera eventos estocásticos tais como direção da corrente marítima, condições climáticas e restrições de janelas de tempo nas unidades e disponibilidade no porto.

A pesquisa bibliográfica realizada indica a importância de se considerar eventos estocásticos no que diz respeito às atividades de serviços de Exploração e Produção. Verifica-se que muitas abordagens para a solução dos problemas de redução de custos, dimensionamento de recursos e aumento do nível de serviço envolvem simulação e/ou otimização.

3.2. Operações portuárias

Terminais portuários envolvem alto grau de complexidade no que tange aos seus processos operacionais. Murty et al. (2005) desenvolvem um estudo sobre sistemas de apoio a decisão em terminais portuários. Descrevem a variedade de decisões a serem tomadas de forma a reduzirem tempo de atracação, reduzirem necessidade de mão-de-obra, tempos de espera de carretas, e congestionamentos de veículos dentro do porto. Devido à complexidade das decisões em função das incertezas inerentes aos processos, destacam a necessidade do uso de sistemas de apoio a decisão como auxílio a uma melhor gestão do porto.

Já van Hee e Wijbrands (1988) descrevem um sistema de suporte a decisão para o planejamento de terminais de containers. Para cada elemento do sistema (berços, guindastes, carretas...) são desenvolvidos modelos para descrever suas performances. O sistema de suporte decisão desenvolvido analisa a interação entre esses elementos através de um modelo global.

Dentre as ferramentas de apoio a decisão, a simulação se mostra eficiente no que diz respeito a análises de sistemas complexos conforme observado por (Legato e Mazza, 2001; Bielli et al., 2006). Já Shabayek e Yeung (2002) destacam pertinência da ferramenta para analisar a eficiência dos terminais portuários, em função da sua capacidade de representar particularidades complexas da realidade.

Segundo Uğurlu et al. (2014), a simulação é muito utilizada em modelagem de portos para realizar análises de capacidades, eficiência e filas. Em seu estudo, um modelo de simulação

para o terminal de BOTAŞ Ceyhan pipeline utilizando o programa AWESIM. São levados em consideração parâmetros operacionais tais como distintas taxas de chegada de embarcações, necessidade de praticagem e variações de condições climáticas. O objetivo do estudo é investigar as taxas de chegada, tempos de atracação e de manobra e capacidade de transporte de carga do terminal.

Ramani (1996) desenvolve um modelo de simulação computacional para planejamento da logística e das operações de container num terminal portuário. O modelo é usado para estimar indicadores de performance tais como ocupação dos berços, número de atracações e tempo de viagem dos navios para diferentes cenários. Destaca a importância de operações mais eficientes e eficazes aumentando a competitividade dos portos e reduzindo custos associados.

Shabayek e Yeung (2002) constroem um modelo de simulação para representar o terminal de container de Kwai Chung, utilizando o software Witness. O modelo fornece parâmetros como tempo médio de permanência no sistema e grau de utilização do terminal, possibilitando estabelecer uma relação entre custo e eficiência. Também pode ser utilizado para planejar a necessidade de novos berços ou estimar ganhos globais com a diminuição dos tempos de operação nos berços.

Legato e Mazza (2001) desenvolveram um modelo de simulação de eventos discretos para atividades relacionadas a processos de chegada, atracação e partida de embarcações num terminal portuário. Como um dos resultados, é mostrado que ferramenta desenvolvida é efetiva para avaliar os impactos no nível de serviço do aumento de recursos ou mudanças nas regras de alocação dos mesmos

Bielli et al. (2006) criam um modelo de simulação orientada a objetos com o objetivo de auxiliar as práticas gerenciais, pois, segundo os autores, é possível testar a eficiência e robustez das diferentes estratégias de operação em ambientes não determinísticos.

Yun e Choi (1999), também desenvolvem um modelo de simulação orientada a objetos para a análise de um terminal portuário, considerando o portão de entrada, a área de armazenagem de containers e os berços.

Assim como no caso das atividades de serviços de Exploração e Produção, verifica-se que a simulação também é uma ferramenta adequada para a representação de operações portuárias, sendo amplamente utilizada nesse contexto por diversos autores.

4. Desenvolvimento do Modelo de Simulação para Operação de PLSVs nas Bases de Dutos Flexíveis

Optou-se por utilizar um modelo de simulação que represente um modelo de filas com frota fixa de embarcações. Assim, qualquer variação no tamanho da frota ou tempos de ciclo afetam diretamente a taxa de chegada das embarcações no porto, que por sua vez influenciam as viagens futuras.

O modelo tem como *inputs* o número de embarcações, o número de berços e as distribuições históricas dos tempos de operação portuária e viagem marítima. Os *outputs* do modelo são a fila média de embarcações no fundeio e a taxas de ocupação dos berços.

Dentro do modelo são construídos três “locais fixos” (porto, bacia e fundeio) e “recursos móveis” (embarcação) que, por sua vez, visitam os locais sempre seguindo uma mesma ordem (porto, bacia, fundeio).

Cada local possui uma capacidade associada para receber a visita de um recurso. Um local com capacidade unitária pode receber apenas um recurso por vez. Se durante a simulação, um

segundo recurso quiser visitar aquele local, ele terá que esperar na fila de até que o primeiro termine a sua visita. Assume-se que o fundeio e a bacia possuem capacidade infinita, portanto não existem filas de embarcações para visitar esses locais.

Já a capacidade do porto é representada pelo número de berços disponíveis. Considera-se que todos os berços estão sempre operacionais, ou seja, se o porto que possui um berço (capacidade unitária) oferta 24 horas de atracação por dia ao longo do ano, um porto com n berços oferta $n \cdot 24$ horas de atracação por dia ao longo do ano. Assim, a taxa de ocupação de 50% de um porto que possui apenas um berço representa 182,5 ($365/2$) dias de utilização por ano.

Para as embarcações que estão no fundeio, o modelo sorteia um tempo de operação portuária e de viagem marítima assim que um berço fica livre. Uma vez escolhida, a embarcação irá ocupar um berço pelo período de tempo sorteado. Quando esse tempo se esgota, a embarcação parte para realizar a viagem marítima que também terá a duração de acordo com o tempo sorteado. Ao final desse período, a embarcação volta para o fundeio estando disponível para realizar uma nova viagem.

O modelo considera que a demanda por viagens é constante. Assim, sempre que houver uma embarcação no fundeio e um berço livre, o modelo vai sortear os tempos operacionais e uma viagem terá início. Caso contrário, o berço permanece sem operação até que uma embarcação surja no fundeio, ou a embarcação aguarda até que o berço fique livre.

A premissa da demanda constante foi considerada para simplificação da modelagem. Na prática a demanda por atracações de PLSVs não é constante, sendo que a embarcação só atraca quando há demanda. Caso contrário, é comum a embarcação permanecer na bacia realizando outras operações, o que aumenta o tempo de viagem marítima.

O modelo considera apenas uma base de apoio, ou seja, após uma viagem marítima a embarcação volta para o fundeio da mesma base da viagem anterior. Também considera que não há restrições operacionais, podendo todas as embarcações atracarem em todos os berços.

O programa escolhido para a simulação foi o Promodel. Ele é um *software* de simulação de eventos discretos que pode ser utilizado para representar processos existentes da manufatura, logística e outros sistemas operacionais.

5. Aplicação do Modelo de Simulação

5.1. Levantamento de dados

Foram levantados os dados relativos a 2014 de uma base de dutos flexíveis localizada no Brasil. Primeiramente, identificou-se o número de berços a ser considerado sendo necessário compreender quais operações cada berço realizava e se estavam disponíveis a maior parte do tempo. Também foi analisado se havia compartilhamento de operações de outras embarcações em um mesmo berço, uma vez que o estudo contempla apenas berços especializados e disponíveis a todo o momento. Considerou-se a utilização plena de dois berços.

Em seguida, levantou-se o tamanho da frota operando no porto durante o período estudado. Ao longo do ano de 2014, a frota, foi sendo alterada ao longo dos meses em função de inícios e término de contratos de embarcações. Para cada embarcação foi considerada a sua primeira e última atracação do ano, de forma a se estimar qual foi a fração do ano em que ela operou na base. Somando-se todas as frações de tempo, obteve-se uma frota de 12 embarcações.

Por fim, foram levantados os tempos históricos de operação na base através da Tabela de Operação Portuária. Essa tabela é utilizada pela equipe da operação para controlar as atividades das embarcações na base. Ela possui dados sobre qual embarcação atracou, o berço utilizado, o

término da atracação e desatracação, entre outras informações que não foram utilizadas no estudo. Um exemplo ilustrativo de duas atracações genéricas pode ser verificado na Tabela 1.

Navio	Carregamento	Berço	Término da Atracação	Término da Desatracação
Embarcação A	EmbA-14/01	B1	05/01/2014 13:15	07/01/2014 07:30
Embarcação B	EmbB-14/02	B2	27/02/2014 21:40	28/02/2014 20:20

Tabela 1 - Tabela de Operação Portuária

A coluna “carregamento” informa qual é o número da viagem que a embarcação vai fazer tendo como origem a base. Na primeira linha da Tabela 1, EmbA-14/01 indica que a Embarcação A fará sua primeira viagem em 2014. A segunda linha mostra que a Embarcação B fará sua segunda viagem em 2014.

Através da Tabela de Operação Portuária, foi calculado o tempo de operação portuária diminuindo o horário de Término da Desatracação do horário do Término da Atracação. Nesse valor já se considera as ineficiências, atrasos e interrupções na operação e o aguardo do práctico e da maré favorável para a saída do canal.

Os tempos de viagem marítima também foram obtidos através da Tabela de Operação Portuária. Considerou-se que o tempo de viagem marítima é o intervalo entre o Término da Desatracação da viagem n e Término da Atracação da viagem $n+1$ para uma mesma embarcação. Assim, o tempo de viagem marítima considera não só os tempos de navegação e operação na bacia, mas também os tempos de navegação no canal e aguardo no fundeio.

5.2. Validação do modelo

Para a validação do modelo, o número de atracações na base e a taxa de ocupação dos berços obtidos como resultado, foram comparados com os parâmetros históricos. Assumiu-se que o modelo seria validado para diferenças entre resultados teóricos e reais menores ou iguais a 5%.

Primeiramente foram obtidas distribuições para os tempos de operação portuária e viagem marítima através de testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov para 5% de nível de significância. Os testes foram realizados através *software* de análise estatística Statfit.

Optou-se por representar os tempos de entrada através de duas funções Gama de parâmetros representados na Tabela 2.

Operação Portuária	Viagem Marítima
$G(3.6, 0.792)$	$G(2.5, 10.6)$

Tabela 2 - Distribuição dos tempos de entrada do modelo

Os resultados obtidos através da simulação considerando dois berços, 12 embarcações e as distribuições dos tempos operacionais foram comparados com os dados históricos conforme ilustrado na Tabela 3.

Parâmetro	Real	Simulado	Variação percentual
Taxa de Ocupação	57,1%	56,7%	0,70%
Número de Atracações no Ano	143	146	-2,31%

Tabela 3 - Comparação entre dados reais e simulados

As diferenças entre os resultados obtidos através de simulação e os dados históricos foram menores do que 5%. Assim, considerou-se o modelo validado.

6. Resultados e Discussões

Uma vez o modelo validado, foram simulados diferentes cenários variando o número de berços. Para cada cenário, obteve-se como *output* do modelo as respectivas taxas de ocupação e fila média de embarcações no fundeio conforme pode ser verificado nas três primeiras colunas da Tabela 4.

Os custos relativos a diária de um berço e de uma embarcação são valores que muitas vezes não são divulgados publicamente pelas empresas. Assim, para a análise desenvolvida, foi considerada a razão entre o valor da diária do berço e o valor da diária da embarcação. Para o cenário base, assumiu-se que o custo da diária de um berço (CB) é de uma unidade monetária e o custo da diária da embarcação (CE) é de 3,5 unidades monetárias.

Para obter o custo operacional relativo à fila de embarcação no fundeio, multiplicou-se a fila média de embarcações pela sua respectiva diária (CE) adotada como premissa. Seguindo a mesma lógica, para cada cenário, também foram calculados os custos de operação da base multiplicando número de berços pela respectiva diária do berço (CB) adotada como premissa. Os resultados permitiram calcular o custo operacional total somando o custo de operação na base com o custo das embarcações na fila do fundeio. A Tabela 4 mostra os outputs e os custos em unidades monetárias para cada cenário simulado.

Nº de berços	Fila média	Taxa de ocupação	Custo fila	Custo base	Custo total
1	2,18	93%	5,7	1	6,72
2	0,21	57%	0,5	2	2,54
3	0,04	38%	0,1	3	3,09
4	0,00	29%	0,0	4	4,01
5	0,00	24%	0,0	5	5,00

Tabela 4 - Custos da fila, custo da base e custo total em unidades monetárias

Em posse dos dados obtidos, é possível encontrar a fórmula analítica que descreve o custo total de operação em função das taxas de ocupação dos berços, através de uma regressão polinomial de grau 2. Também foi calculado o valor do R^2 para verificar se a curva encontrada descreve de forma satisfatória os pontos analisados. O cálculo foi realizado utilizando como ferramenta o *software* Excel e os resultados são apresentados pela Figura 1.

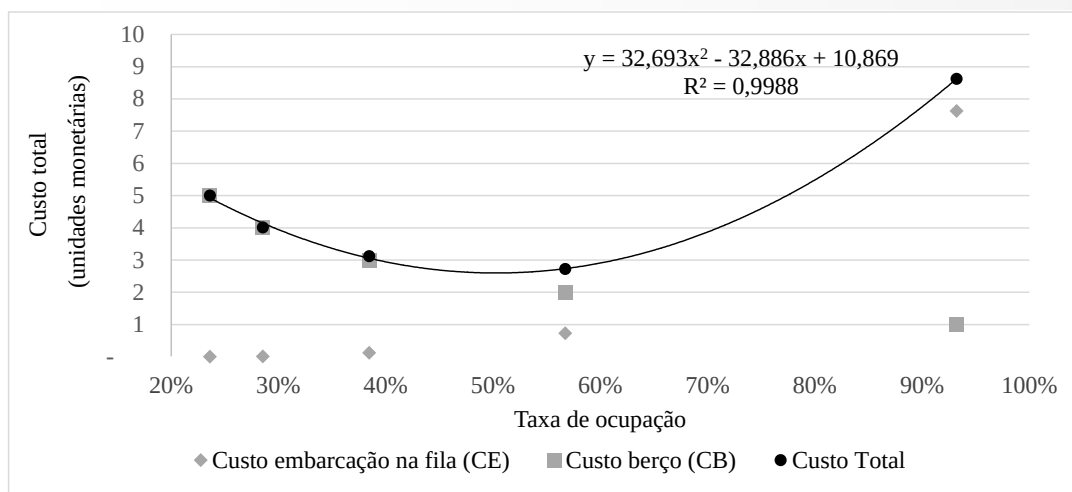


Figura 1 - Curva do custo total em função da taxa de ocupação portuária

O valor obtido para o $R^2 = 0,9988$ indica que a fórmula analítica encontrada se aproxima dos pontos analisados.

A curva mostra que o custo mínimo de operação é obtido a uma taxa de ocupação do porto de 50%. No entanto, quando se transita na faixa entre 40% e 60% de taxa de ocupação, o custo mínimo tem um acréscimo de menos de 15%, conforme pode ser verificado na Tabela 5.

Taxa de ocupação	Custo total	Acréscimo em relação ao cenário de menor custo
40%	2,945	13%
41%	2,881	11%
42%	2,824	9%
43%	2,773	7%
44%	2,729	5%
45%	2,691	4%
46%	2,659	2%
47%	2,634	1%
48%	2,616	1%
49%	2,604	0%
50%	2,599	-
51%	2,601	0%
52%	2,608	0%
53%	2,623	1%
54%	2,644	2%
55%	2,671	3%
56%	2,705	4%
57%	2,746	6%
58%	2,793	7%
59%	2,847	10%
60%	2,907	12%

Tabela 5 - Custo total e acréscimo em relação ao cenário de menor custo para taxas de ocupação distintas

7. Conclusões e Direções Futuras

Neste artigo foi apresentado um procedimento para determinar a faixa da taxa de ocupação dos berços de uma base de dutos flexíveis em que os custos operacionais sejam mínimos através de um modelo de simulação.

O modelo foi validado baseando-se na análise do caso real de uma base de linhas flexíveis brasileira. Os resultados obtidos apontam que o custo mínimo de operação é verificado com uma taxa de ocupação do porto de 50%. No entanto, verifica-se que dentro da faixa que vai de 40% a 60% de taxa de ocupação, o custo operacional tem um acréscimo de menos de 15% em relação ao custo mínimo.

Os resultados obtidos são de extrema importância para o auxílio da tomada de decisão das empresas de petróleo com relação a investimentos portuários, principalmente em cenários nos quais a indústria *offshore* passa por um momento de incertezas políticas e econômicas. Em situações dessa natureza a operação de forma sustentável torna-se crucial para a manutenção do lucro e sobrevivência da empresa.

Através do procedimento apresentado, também é possível auxiliar estudos em que se considere mais de uma base de apoio ao longo da costa e restrições operacionais de embarcações e berços. Espera-se ainda que o modelo possa ser aplicado em outros setores da indústria *offshore* ou até mesmo em outras indústrias.

Referências

ARONOFISKY, J. S.. Linear programming: A programming: A problem-solving tool for a petroleum industry management. *Journal of Petroleum Technology*, 29(12), 1651-1653, 1962.

BASSI, H. V. ; FERREIRA FILHO, J. M. ; BAHIANSE, L.. Planning and scheduling a fleet of rigs using simulation-optimization. *Computers & Industrial Engineering*, 2012.

BASSO, Larissa. Petróleo, shale e energias de baixo carbono: inter-relações e incertezas. *Boletim Mundorama*, 13 mar 2015.

BIELLI, M.; BOULMAKOUL, A.; RIDA, M. . Object oriented model for container terminal distributed simulation. *European Journal of Operational Research* 175, 1731-1751, 2006.

BICUDO, Ricardo Gomes Pereira Bicudo. Análise de instalação de Linhas Flexíveis. 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado no Programa de Engenharia Oceânica – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DE ALMEIDA, M. R.. Algoritmos genéticos aplicados à programação de embarcações de apoio às operações offshore. In: XLI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, p. 1015–1026, 2009

van HEE, K. M. ; WIJBRANDS, R. J.. Decision support system for a container terminal planning. *European Journal of Operational Research* 34, 262-272, 1988.

<http://www.nasdaq.com/markets/crude-oil-brent.aspx?timeframe=2y>, Consultado em 23/05/2015

<https://www.promodel.com/>, Consultado em 27/06/2015

KAISER, M. J.. An integrated systems framework for service vessel forecasting in the Gulf of Mexico. *Energy*, 35(7):2777-2795, 2010.

LEGATO, P.; MAZZA, R. M.. Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation. *European Journal of Operational Research* 133, 537-547, 2001.

LEITE, Ricardo Penna. Maritime transport of deck cargo to Petrobras elds in Campos Basin: an empirical analysis, identification and quantification of improvement points. 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado Departamento de Engenharia Industrial) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MAISIUK, Y. ; GRIBKOVSKAIA, I.. Fleet Sizing for Offshore Supply Vessels with Stochastic Sailing and Service Times. *Procedia Computer Science*, 2014

MURTY, K. G. et al.. A decision support system for operations in a container terminal. Decision Support Systems 39 - 332, 2005.

RAMANI, K. V.. An interactive simulation model for the logistics planning of container operations in seaports. Simulation, 1996.

SHABAYEK, A.A.; YEUNG, W.W.. A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong. European Journal of Operational Research 140, 1-11, 2002.

SHYSHOU, A. ; GRIBKOVSKAIA, I. ; BARCELO J.. A simulation study of the fleet sizing problem arising in offshore anchor handling operations. European Journal of Operational Research 203(1):230-240, 2010.

UĞURLU, Ö.; YÜKSEKYILDIZ, E. ; KÖSE E.. Simulation Model on Determining of Port Capacity and Queue Size: A Case Study for BOTAS Ceyhan Marine Terminal. The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2014.

YUN, Y. Y.; CHOI, Y. S. A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach. International Journal of Production Economics, 1999.

YUSUF, Y. Y. et al.. The UK oil and gas supply chains: An empirical analysis of adoption of sustainable measures and performance outcomes. International Journal Production Economics 146, 501-514, 2013.