



LOGÍSTICA DE EMBARCAÇÕES PARA CONEXÃO DE POÇOS DO PRÉ-SAL

Carlos Francisco Simões Gomes^{a*}, Bruno Pereira Bianco^a
Maria Cecília Carvalho Chaves^b

^a*Universidade Federal Fluminense - UFF, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

^b*Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

Resumo

A descoberta de óleo na camada do pré-sal trouxe novas oportunidades e desafios para empresas operadoras de campos de petróleo. O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia para o dimensionamento da frota a ser utilizada na Bacia de Santos, com o propósito de maximizar o retorno a ser obtido pelos projetos de exploração. Este planejamento é de suma importância tendo em vista sua criticidade e também o valor agregado do recurso. O Método de Monte Carlo foi utilizado para considerar riscos através da inclusão de variabilidade no modelo. Uma heurística foi elaborada com a função de mobilizar as embarcações de acordo com a necessidade do projeto. O critério de avaliação para inclusão de navios é o VPL feito a partir da produção estimada do projeto. Observou-se o comportamento do VPL para cada navio adicionado e análises de sensibilidade foram conduzidas para comprovar a robustez das simulações.

Palavras-Chave: Apoio à Decisão; Análise Probabilística de Risco; Logística de Embarcações

Abstract

With the discovery of oil in pre salt layer, new opportunities and challenges were brought for the oil and gas operators. This work aims to present a methodology for sizing the fleet to be used in Bacia de Santos, in order to maximize the return to be obtained by exploration projects. This planning is extremely important in view of their criticality and the value of the resource. The Monte Carlo Method was used to consider risk by the inclusion of variability in the model. A heuristic has been developed with the task of mobilizing the vessels according to the need of the project. The evaluation criterion for inclusion of vessels is done from the NPV of the estimated output of the project. We observed the behavior of NPV for each ship added and sensitivity analyzes were conducted to prove the robustness of the simulations.

Keywords. Support to Decision Making; Probabilistic Risk Analysis; Marine Logistics;

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

1. Introdução

Hoje sabe-se que existe óleo na camada de pré-sal em até 7.000 metros de profundidade a 320 km da costa e cerca de 2.200 metros de lâmina d'água, em aglomerados que apresentavam imensos poços contendo petróleo de excelente qualidade (Petrobras, 2014a). O volume de óleo, no pré-sal, extraído, já alcançou a marca de 444 mil barris por dia. A exploração em águas profundas é um desafio que exige tecnologia de ponta (Petrobras, 2014b). Segundo Taylor e Hiner (2011) o custo, desde perfurar um poço até sua conexão à unidade de produção, pode chegar a US\$ 250 milhões de sendo que no Brasil esses custos podem ser ainda maiores.

Incertezas e riscos são inerentes a projetos desta natureza. A incerteza não está presente apenas durante a retirada do petróleo do reservatório até a chegada à plataforma. A operação de conexão dos poços à Unidade Estacionária de Produção (UEP) é arriscada e muito dispendiosa. Essa conexão é feita com uso de dutos responsáveis por levar o óleo que passa pela Árvore de Natal Molhada (ANM) até a plataforma. Para realizar este tipo de conexão existem embarcações específicas, chamadas de *Pipe Layer Support Vessel (PLSV)*. Os *PLSVs* são carregados com grande volume de linhas, graças a sua alta capacidade de armazenamento, e a partir disso, navegam em direção ao campo em questão para poder realizar o lançamento destas. Esta operação pode ter tempo de duração variado, pois depende da complexidade da conexão, que principalmente depende do terreno e da trajetória além das condições de tempo e eventuais óbices técnicos.

Este artigo faz uma aplicação em campos de exploração que se localizam a 300 quilômetros de distância da costa, com aproximadamente 2.000 metros de lâmina d'água entre a superfície e o fundo do mar. As plataformas para essa profundidade de água são unidades chamadas de *Floating Production, Storage and Offloading (FPSO)*. Estas plataformas são, de fato, grandes navios plataforma fundeados no mar, conectados aos poços, onde o petróleo é processado e armazenado para depois ser descarregado. Os *FPSO* têm capacidade de processamento limitada. Este artigo tem como objetivo elaborar uma metodologia para planejamento da frota de embarcações a serem utilizadas na Bacia de Santos a fim de se otimizar o retorno obtido pelos projetos de exploração. Com o uso de técnicas probabilísticas será elaborado um modelo que simule o sequenciamento de eventos de um projeto de E&P (Exploração e Produção). Este estudo determinará a demanda de *PLSVs* e através de uma heurística se realizará a alocação das embarcações

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Devido às condições abruptas a que as embarcações são submetidas na Bacia de Santos, os *PLSVs* que atuam no pré-sal precisam ter características que atribuam maior confiabilidade à operação. São necessários métodos para se avaliar de maneira precisa a quantidade de embarcações necessárias. Para que os poços possam começar a produzir, além de a plataforma estar pronta, é necessário conectá-los a mesma. Essa operação é de muita complexidade e requer um tipo de material especializado para que aconteça. Sendo esta conexão crítica para que os poços possam produzir, deve-se atentar para que não haja atrasos durante estas operações, sendo assim importante que não falem recursos logísticos para a mesma acontecer.

Na seção 2 é apresentado uma descrição do risco, na seção 3 é apresentada uma revisão da literatura, na seção 4 é a aplicação em um problema real, na seção 5 é feita a análise de resultados, e seção 6 conclusões.

2. Riscos

Segundo Mendes (2009), não se deve pensar em um número quando se está trabalhando em um ambiente com riscos. Deve-se pensar em intervalos e na frequência em que eles podem ocorrer. Assim, ao se utilizar análise e simulação de riscos se devem identificar as distribuições de probabilidade, os fatores de variação e quantificar as variações nas saídas de seu projeto (Mendes, 2009). A partir disso, a aplicação de técnicas para análise e otimização se torna mais robusta e aplicável.

Neste artigo, para a determinação da alocação de embarcações no projeto foi elaborada uma heurística, implementada a partir de programação em MS Excel VBA. Utilizou-se o Método de Monte Carlo (MMC) que tem se mostrado uma ferramenta bastante adequada a problemas de análise de risco (Silva et al, 2006; Ferraz et al. 2007).

Em Rabechini e Carvalho (2013) é mencionado o uso do MMC para estudar os riscos de projetos. Estes autores conseguem, através de uma pesquisa contendo 415 projetos de nove setores diferentes, demonstrar a importância da gerência de risco para a gerência de projetos, quando a conclusão de sua pesquisa apresenta ligação entre a percepção de sucesso do projeto e a presença do uso de práticas de gestão de riscos.

Neste artigo, a análise de cenários e a proposta de mobilização de embarcações são feitas utilizando com principal parâmetro o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto. Busca-se evidenciar como cada cenário afeta o valor real do projeto além de uma visão geral de como potencializar o retorno sobre o investimento utilizando-se de técnicas de apoio a decisão. Com a integração destas técnicas será possível vislumbrar o comportamento do valor

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

do projeto de acordo com a variação de parâmetros específicos. A análise de cenários é baseada no impacto da mudança ao valor do projeto. Não estão incluídos nos cálculos taxas como Participação Especial (PE), *Royalties*, Imposto Sobre Operações Financeiras (IOF) e Imposto de Renda (IR). O fluxo de caixa para a comparação é o fluxo bruto. Um limitante desta análise é o fato de existirem poucas informações disponíveis sobre este tipo de projeto devido ao baixo número de projetos deste tipo já executados, além da alta confidencialidade das informações. Este artigo busca validar um modelo de análise que terá seus parâmetros baseados nos melhores dados disponíveis em 2013.

3. Revisão da Literatura

Planejar o futuro nunca é uma tarefa fácil ainda mais em um empreendimento com variados tipos de risco. As simulações probabilísticas fornecem um grande avanço ao projeto em termos de planejamento. É importante salientar que as informações de profissionais da área são muito importantes. O planejamento desses megaprojetos é de suma importância para se obter êxito.

Merrow (2011) aplica uma pesquisa para levantar dados históricos relativos ao sucesso de megaprojetos de E&P. O resultado do estudo foi que apenas 22% era realmente um sucesso. Vale adicionar que a média de sucesso da indústria no geral foi de 50%, sendo que a complexidade aumentou de maneira semelhante para ambos. Os projetos rotulados, pelo autor, como falha, não necessariamente, não geraram lucro. Na verdade, quer dizer que tiveram seu valor presente impactado, de maneira negativa, por não terem sido cumpridas as promessas feitas durante a decisão de investimentos. Os projetos que falharam tiveram um aumento de custo de 35% em relação aos bem-sucedidos que não apresentaram aumento algum. Outro ponto importante é o fato de que apesar de os projetos malsucedidos terem um atraso de 30% em seu cronograma base, a diferença entre o tempo de execução total dos sucessos e das falhas é bem pequena. Ainda de acordo com Merrow (2011), é evidenciado que quanto melhor o planejamento inicial, menor é o aumento de custos.

3.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é utilizado, neste artigo, como parâmetro para se comparar os cenários resultantes das simulações. Em Samanez (2005) o VPL é apresentado como a subtração do investimento inicial de um projeto do valor presente de seu fluxo de caixa descontado. Essa medida é utilizada para embasar decisões de investimento, pois analisa se haverá algum retorno relativo ao investimento que se está fazendo e também qual será este retorno.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Guimarães (2012) define de maneira semelhante dizendo que essa técnica desconta os fluxos de caixa da empresa a uma taxa especificada, sendo esta taxa o mínimo de retorno que se deve ter com projeto, a taxa pode ser chamada, também, de taxa de desconto. Ferraz et al. (2007) utilizaram o VPL como indicador econômico na análise da viabilidade econômica de um projeto na indústria de petróleo.

3.2 Método de Monte Carlo (MMC)

Um modelo de simulação pode ser replicado quantas vezes forem necessárias para garantir uma tomada de decisão mais segura e se basear em resultados confiáveis (OLIVEIRA, CORREA, NUNES, 2014).

Em Turrioni e Mello (2012) a simulação é definida como, a representação de um sistema real no computador, com a vantagem de se poder fazer modificações e analisar “o que aconteceria se” (*what if*) economizando tempo e dinheiro.

Para Harrel, et al (2004), a simulação pode ser definida como a imitação de um sistema dinâmico, usando um modelo computacional para avaliar e melhorar o desempenho deste sistema. A simulação envolve a criação de uma história artificial de um sistema real ao longo do tempo, e a observação desta história para fazer inferências a respeito das características da operação do sistema real representado.

Nesse sentido, a simulação tem sido empregada de forma crescente para auxiliar a tomada de decisões por meio da modelagem, análise e projeto de sistemas complexos, a fim de caracterizar o impacto de mudanças de parâmetros no desempenho do sistema; destaca-se o fato de a simulação ser uma alternativa à experimentação direta no sistema real; a realização de experimentos no sistema existente pode gerar altos custos, comprometer prazos de entrega de produtos, alocação de pessoas e recursos ou até mesmo ser impraticável (MONTEVECHI *et al.*, 2014).

Kleijnen *et al.* (2005) afirmam que muitos praticantes de simulação podem conseguir mais de suas análises por meio da aplicação do planejamento de experimentos (DOE). Os benefícios do planejamento de experimentos na simulação incluem a possibilidade da melhoria do desempenho no processo de simulação, evitando a técnica da tentativa e erro para a busca de soluções (MONTEVECHI *et al.*, 2014).

Em Yoriyaz (2009), o MMC é descrito como um método estatístico, no qual se utiliza uma sequência de números aleatórios para a realização de simulações. Outros métodos de representação de fenômenos são feitos a partir de equações que descrevem o evento. Santos

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

(1999) explica que os modelos de simulação podem ser Estáticos ou Dinâmicos. Os sistemas dinâmicos apresentam diferenças nos resultados com o passar do tempo. Já o modelo de simulação estática, também chamado de Simulação de Monte Carlo, é o tipo de modelo em que a passagem de tempo é irrelevante para a análise. Kruger (2012) salienta a importância da escolha correta dos parâmetros no uso do MMC.

Silva et al. (2006) utilizaram o MMC na elaboração de um procedimento para realizar uma análise de risco de projetos de desenvolvimento de produção de petróleo. O MMC é bastante útil, pois possibilita a análise prévia de situações que a empresa em estudo poderia ter que enfrentar antes que elas aconteçam; é um método bem conhecido, que visa contemplar às incertezas presentes em muitos problemas de decisão; a construção de modelos de simulação requer experiência tanto no uso de recursos computacionais quanto no campo empresarial onde se pretende usar esses resultados (SILVA et al, 2014).

Silveira, Anzanello e *Etcheverry* (2014) descrevem que o MMC é operacionalizado através de um processo iterativo, onde são gerados, aleatória e sucessivamente, N valores de uma variável de entrada específica, aplicados ao modelo em análise, resultando em uma distribuição de probabilidade com média e desvio padrão de ocorrências para o evento (modelo) estudado. Os resultados das variáveis aleatórias permitem o cálculo da função de distribuição acumulada. Os dados gerados são então inseridos na modelagem de interesse, e cenários alternativos são avaliados de acordo com o propósito da análise.

A utilização do MMC para modelar permite a inclusão da variabilidade natural existente na realidade (Mendes, Ribeiro, 2014). Mavrosta et al (2015) e Cordero et al (2015) salientam a importância do uso do MMC na simulação de cenários.

3.3 Métodos Heurísticos

Na realização do presente estudo, foi utilizada uma heurística para alocação das embarcações durante a simulação. A grande vantagem do uso de métodos heurísticos é a flexibilidade que os mesmos apresentam. Em Moura (2012), é destacado o uso de métodos heurísticos para programação de veículos, e também é afirmado que os mesmos utilizam uma abordagem intuitiva que tira proveito da estrutura do problema, em específico, para gerar soluções adequadas. Para Moura (2012), heurísticas apresentam um problema em particular, que é a falta de robustez para a solução de problemas com algumas modificações é ressaltado também que é possível utilizar tais métodos para apresentar soluções viáveis.

4. Aplicação

O problema estudado é de um projeto de campo de petróleo. Os insumos para o estudo são dados públicos obtidos em empreendimentos de mesmas características ou similares.

O modelo utilizado para a representação do mesmo será o modelo estocástico, pois todo projeto está sujeito a mudanças em seu cronograma e por isso é de interesse que as variáveis possam assumir valores diferentes para que se considere a variabilidade que o sistema pode apresentar. O modelo também poderá ser classificado como dinâmico, já que irá representar a evolução do projeto ao longo dos anos em que estará em andamento.

A simulação foi baseada em dados pesquisados em fontes com informações de projetos de mesmo cunho e amplitude semelhante. Para ser possível representar quantitativamente os riscos é utilizado o MMC. Buscando-se identificar a demanda de *PLSVs* e através de uma heurística se realizará a alocação das embarcações, foi levada em consideração a flexibilidade que programa, desenvolvido, proporciona, já que a heurística de alocação de barcos é toda feita utilizando linguagem Visual Basic for Applications (VBA).

O Principal *input* do modelo é a curva de produção apresentada no planejamento estratégico da empresa Petrobras, neste, são exibidos os anos em que os diferentes campos irão entrar em produção, até 2020. Do *input* de se extrai a data em que as plataformas estarão posicionadas no campo, sabendo que estão no caminho crítico para se iniciar a produção. As datas são utilizadas para estipular quando que os poços estarão prontos para conexão. O *output* dessa parte da simulação é um cronograma de conexão de poços assumindo um número ilimitado de embarcações lançadoras de linhas. A heurística (Figuras 1, 2 e 3) aloca os *PLSVs* considerando: quantidade de *PLSVs*, data de mobilização, cronograma de poços definido anteriormente e o sequenciamento das atividades. Assim, é possível medir o quanto de atraso e perda de produção se tem em cada caso para diferentes mobilizações de *PLSVs* e cronogramas de projeto.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

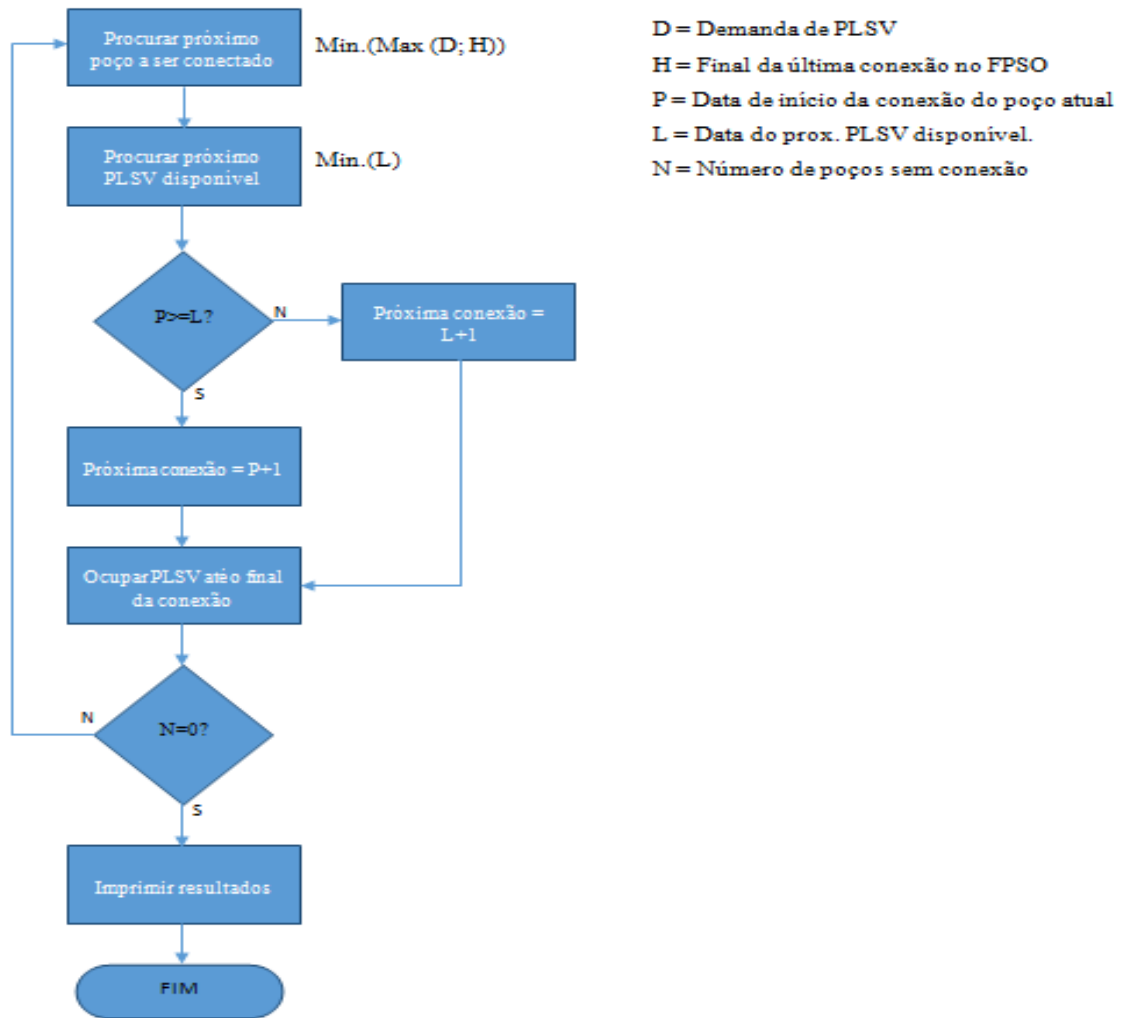


Figura 1: Fluxograma demonstrando o funcionamento do modelo

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

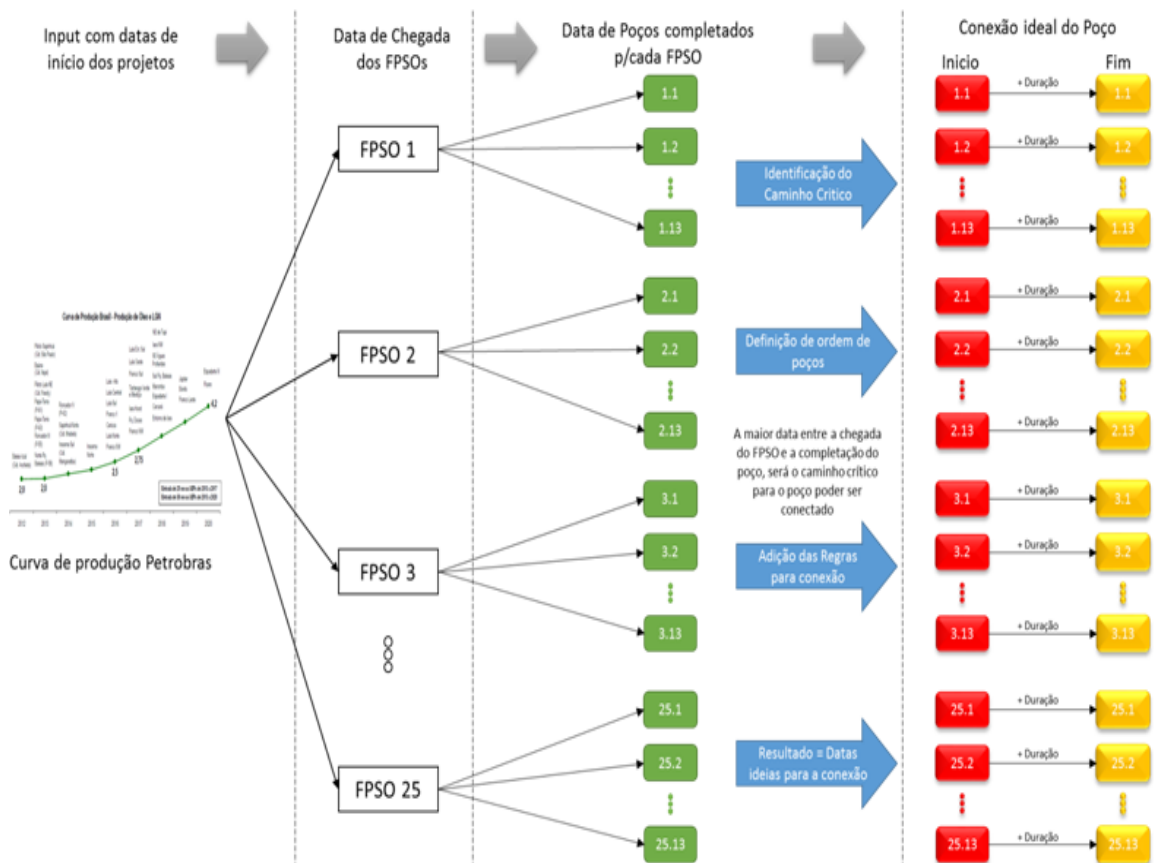


Figura 2: Digrama da lógica da primeira parte da simulação.

Nesta fase também se elaborará o procedimento que irá calcular a produção a partir das datas de conexão determinadas. Tendo em posse produção e mobilização das embarcações será estimado o custo do projeto. É importante mencionar que muitos dos parâmetros utilizados nesses cálculos são extrapolações feitas baseadas em pesquisa e conhecimento do mercado.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

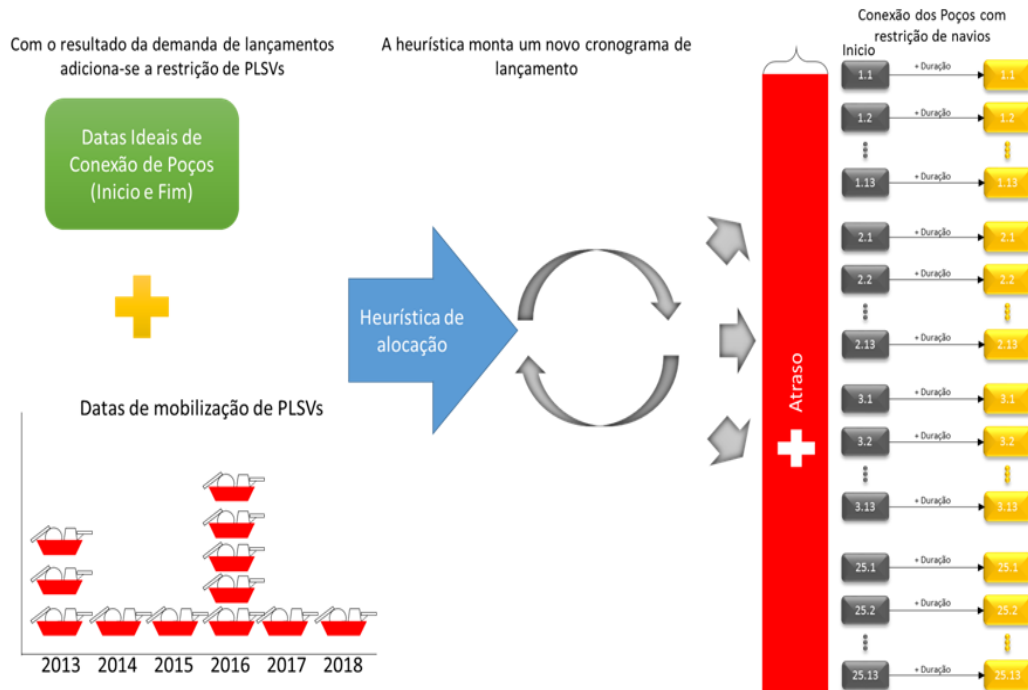


Figura 3: Primeira parte da simulação

A segunda fase do estudo consiste em, pelo uso de uma análise de cenário proporcionada pelo modelo anteriormente elaborado, identificar o impacto que diferentes quantidades de embarcações teriam no lucro do projeto.

A estratégia utilizada para este modelo leva em conta os seguintes parâmetros de entrada que serão os mesmos para todas as simulações:

- I. Número e Nome dos Projetos: A partir desta informação determina-se no modelo qual será o número de projetos a ser considerado.
- II. Capacidade do *FPSO* de cada projeto: Esta entrada é utilizada posteriormente, no cálculo a produção, para limitar a produção do campo à capacidade máxima de processamento da plataforma.
- III. Número de poços por projeto: Esta entrada aliada ao número de projetos determina quantos lançamentos de dutos serão feitos na simulação. As combinações destas duas variáveis interferem muito na no tempo de processamento que cada simulação levará.
- IV. Data em que a plataforma estará pronta: Baseado no plano de negócio da Petrobras, essa data é importante, pois assim se descobre quando que a demanda por *PLSVs* de um projeto começará.
- V. Data de término da “completação”. Esta data representa quando que o poço estará disponível para a conexão. Isto significa que o mesmo já foi perfurado e sua árvore de

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

natal já foi entregue e instalada, só faltando restando a conexão do poço para que o mesmo entre em operação e comesse a produzir óleo.

- VI. Produção média de cada poço (em mil barris por dia): Esta é a taxa que vai determinar o quanto de óleo cada poço produtor produz por dia. Isso influencia diretamente na receita do campo.

Os dados de saída de uma simulação podem ser variados dependendo do objetivo do estudo. No entanto para este artigo as saídas são:

- i. VPL Comparativo entre os diferentes resultados das simulações. O método utilizado não consegue apresentar o resultado absoluto para o VPL do projeto, pois não se tem acesso ao investimento e aos custos operacionais dos projetos, devido à falta de informação. Entretanto pode-se medir o quanto de ganho ou perda neste índice pode acontecer em diferentes casos.
- ii. Tempo de espera por *PLSVs* em dias de produção dos poços, que é o tempo-de espera apresentado em cada ano devido à falta de *PLSV* necessários para realizar cada operação.
- iii. Curva de produção e de gastos com *PLSVs* para cada simulação. É possível também representar os ganhos obtidos para cada caso. Essas curvas de produção e de gastos são feitas a partir do cronograma de conexão de poços montado em uma respectiva simulação. O dado de entrada necessário para rodar cada caso, é a quantidade de embarcações e sua disponibilidade inicial. Isso é informado pelo usuário do modelo, o que permite análises flexíveis de caso.

4.1 Premissas

A primeira premissa utilizada no modelo é a curva de produção que está presente no plano da Petrobras. Foi considerado que os projetos terão desenvolvimento padrão, só possuindo árvore de natal molhada conectada através dutos à plataforma. Isso significa que para que os *PLSVs* possam começar o lançamento da linha do primeiro poço é necessário que o FPSO já esteja disponível no local, não havendo possibilidade de pré-conexão. Foi considerado que a equipe do projeto planejou a construção da plataforma com antecedência suficiente para que os primeiros poços sejam conectados a tempo. Para a quantidade de poços em cada projeto, foi utilizada a informação contida em no site de informes da Petrobras

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

(Petrobras, 2014c). Com o intuito de realizar o estudo de maneira mais conservadora, foi considerada a nova legislação da ANP sobre a queima de gás. Esta lei restringe muito este tipo de ação, por isso, para que o prospecto possa começar a produzir óleo, é necessário que ambos os poços: primeiro produtor e injetor estejam conectados. A base de cálculo para os custos e receita é anual.

Só serão considerados os custos de afretamento dos *PLSVs*, isso porque, este é o custo diretamente influenciado pela quantidade de navios contratados. Será adotado que os demais investimentos foram feitos antecipadamente, uma premissa razoável para o tipo de negócio, assim a diferença de caso para caso será isoladamente referente a contratação de *PLSVs* e o adiantamento de produção proporcionado. A perda de dias de produção, também foi modelada de maneira que, apenas as perdas referentes à falta de *PLSVs* fossem consideradas. Assim, variações em datas e em duração de atividade não geram perda direta, mas impactam dependendo da dinâmica de mobilização dos *PLSVs*.

Outra premissa é que a equipe que encomendou os equipamentos e também planejou a ordem de perfuração e completação, fez isso focando na ordem necessária para o correto desenvolvimento. Também se adotou que não pode haver troca na ordem de poços dentro do mesmo projeto, pois cada um tem um equipamento específico e uma ordem previamente planejada. Mas nada impede que poços de um projeto tenham preferência em relação aos de outro, no entanto, isso só acontece se a sequência sorteada pelo modelo o favorecer. A título de estimativa, a taxa utilizada para o cálculo do VPL foi a média, histórica, dos últimos cinco anos. Para a heurística de alocação de embarcações, a principal premissa é a de que não acontecem lançamentos paralelos de dutos no mesmo *FPSO*. Isso porque a operação pode se tornar perigosa e em termos de cronograma torna o projeto mais crítico. Assim a conexão se torna caminho crítico para o projeto, então se o primeiro poço tiver um atraso em sua conexão, o projeto todo é impactado com isso.

Foi considerado que cada navio leva equipamento suficiente para a conexão de apenas um poço. Por isso, mesmo que um navio esteja realizando lançamentos no campo A nada impede que ele possa fazer seu próximo lançamento no campo B, tendo em vista que, de qualquer maneira, ele terá que retornar ao porto para se abastecer de suprimentos e material. Foi considerado que os quatro primeiros poços do campo, terão suas completações planejadas para acabar antes da data de primeiro óleo. Isso porque, as empresas de petróleo, normalmente tem um enfoque maior na fase inicial do projeto, que é quando se tem o maior impacto em ações. E também, pois a qualidade do *ramp-up* determina quando se chegará a máxima

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

capacidade do *FPSO*, o que garante que se está retirando o máximo de óleo possível. Assim a maior parte dos esforços do planejamento são para as fases iniciais do projeto, por isso os quatro primeiros poços almeçados com antecedência, e os nove restantes mais espaçados ao longo do tempo. Para as variações incluídas através do Método de Monte Carlo, foi utilizada a curva Beta com aproximação *PERT*, como é sugerido pelo *PMI*. E para a análise de resultados final, foram considerados os resultados do P50, tendo em vista que estes são os mais prováveis de serem os verdadeiros. Ainda falando da parte probabilística do estudo, pode-se ressaltar que os projeto que estão mais curto prazo tem menos incerteza incluída em suas datas se comparados com os projetos mais a longo prazo. Estes possuem um horizonte maior no que referente a datas e durações.

4.2 Validação

Para viabilizar a etapa de validação, foi feito um modelo determinístico com datas estáticas considerando a duração média. A principal meta é encontrar mecanismos que garantam que as regras necessárias para melhor adaptação à realidade estão sendo cumpridas durante a simulação. Para isso foram rodadas simulações com dados fictícios e geraram-se gráficos que mostravam o cumprimento das regras necessárias. Utilizando-se dados reais gerou-se a figura 4, resultante da simulação determinística. As linhas verticais representam as operações de lançamento de dutos e as diferentes cores são as respectivas embarcações que as estão realizando. O exemplo rodado considerava cinco *PLSVs* no total (representados por números na coluna *PLSV*), sendo que dois começavam suas operações em 2013 e os outros 3 em 2014. É possível notar que as datas de disponibilidade dos mesmos estão sendo respeitadas já que não se vê os navios realizando nenhuma atividade antes dos anos mencionados. Além disso, é visível que todos os poços estão sendo conectados.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

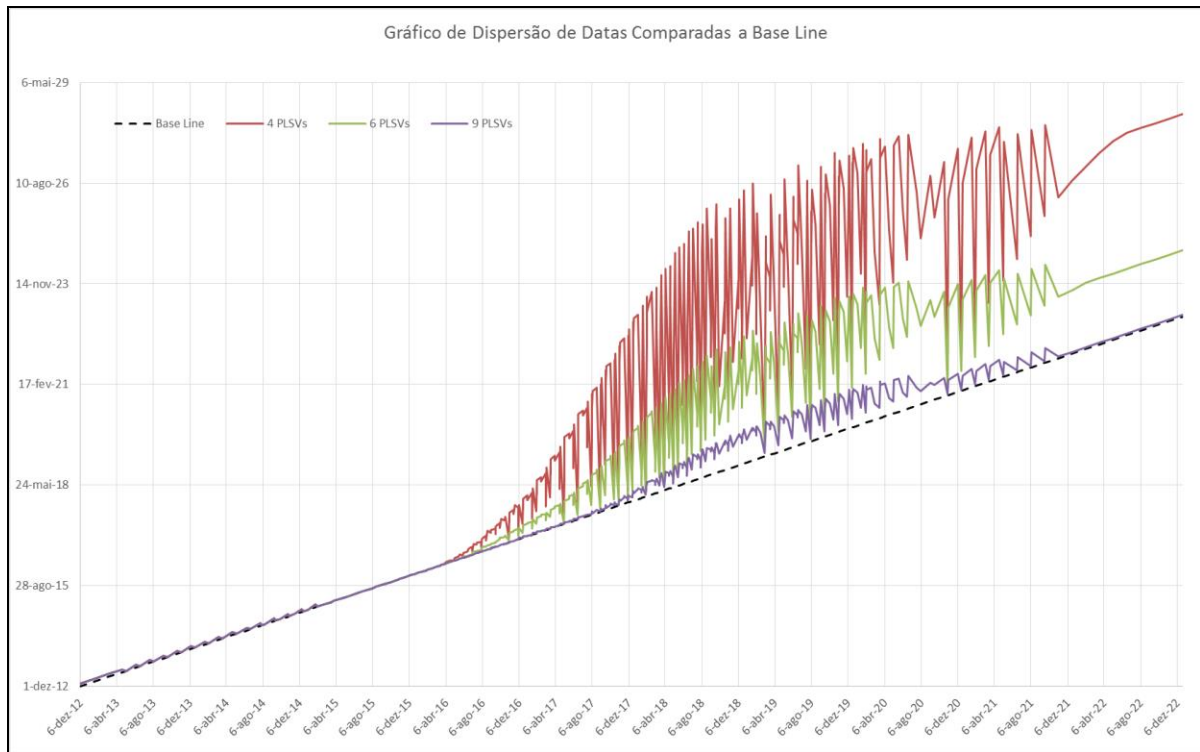


Figura 4: Dispersão das datas de conexão em relação o Baseline

Na Figura 4 estão presente as dispersões do cronograma resultante da heurística em relação a linha de base (preta pontilhada). Neste gráfico o eixo x (horizontal) representa as datas em que cada operação ocorreu quando não se considerava um número limitado de embarcações lançadoras. No eixo y (vertical) estão representadas as datas em que as mesmas operações ocorreram quando foram adicionadas as restrições. Cada cor representa o efeito obtido com diferentes números de embarcações, ou seja, a vermelha é a com menos embarcações (quatro) e a roxa é a com mais (nove). Percebe-se desse gráfico que os dois efeitos desejados estão presentes, tanto a ausência de atrasos negativos, quanto a tendência que a linha tem de se juntar a base com o aumento no número de embarcações. Outro fenômeno interessante que se observa, principalmente, na linha vermelha é que a linha possui vários picos e vales mostrando que nem sempre o *PLSVs* causa algum atraso em uma data e quando isso acontece a linha tende a se aproximar da base. Outra informação muito importante de se observar é que cada *PLSVs* adicionado o impacto que o mesmo tem sobre essa dispersão é menor. Outra versão do gráfico de dispersão mostra as mesmas curvas, no entanto com uma curva azul extra.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

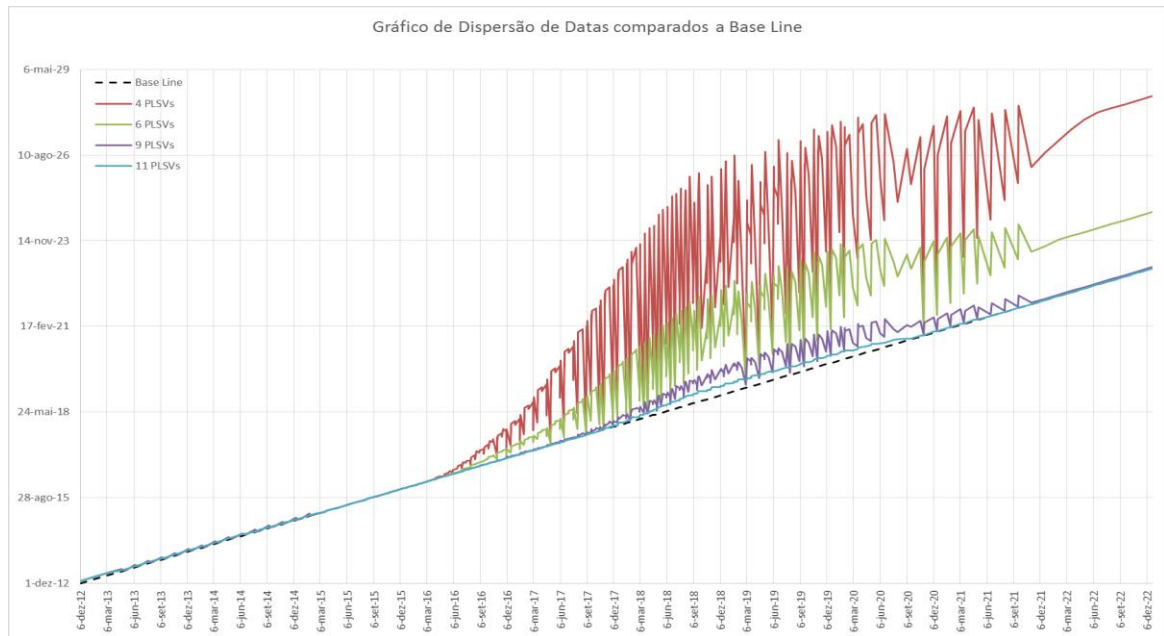


Figura 5: Gráfico de dispersão mostrando a redução do efeito a cada PLSV adicionado

A curva azul da Figura 5 demonstra o que foi informado no parágrafo anterior. É perceptível que a princípio cada *PLSV* adicionado à simulação tinha um impacto muito grande. Mas, à medida que o número foi ficando mais elevado, o efeito causado por uma embarcação extra foi se reduzindo. Por fim, o último teste aplicado no modelo buscou resultados aplicando Monte Carlo.

A Figura 6 apresenta as 10 simulações realizadas, que diferem uma das outras pela adição de um novo navio lançador a cada uma delas. O resultado é expresso em escala logarítmica para uma melhor visualização da distância entre as linhas. Esse gráfico foi feito sem considerar algum tipo de estratégia para realizar a mobilização, apenas a título de ilustração. Mesmo assim é notável que cada vez que o número de *PLSVs* aumentava o tempo de espera dos poços diminuía. Além disso, também mostra que com quatro *PLSVs* foi possível zerar o atraso em 2015 e em 2016 com dez. No fundo, tem-se o gráfico de barras utilizando o eixo vertical secundário. Este mostra a quantidade de *PLSVs* que se possuía em cada ano. Os testes feitos até agora foram utilizados para validar o modelo e por isso, foram feitos considerando um número maior de poços (450) do que o modelo que será feito para tirar conclusões. O motivo disso é que se aproveitou para testar a robustez do método quando submetido a um grande número de variáveis.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

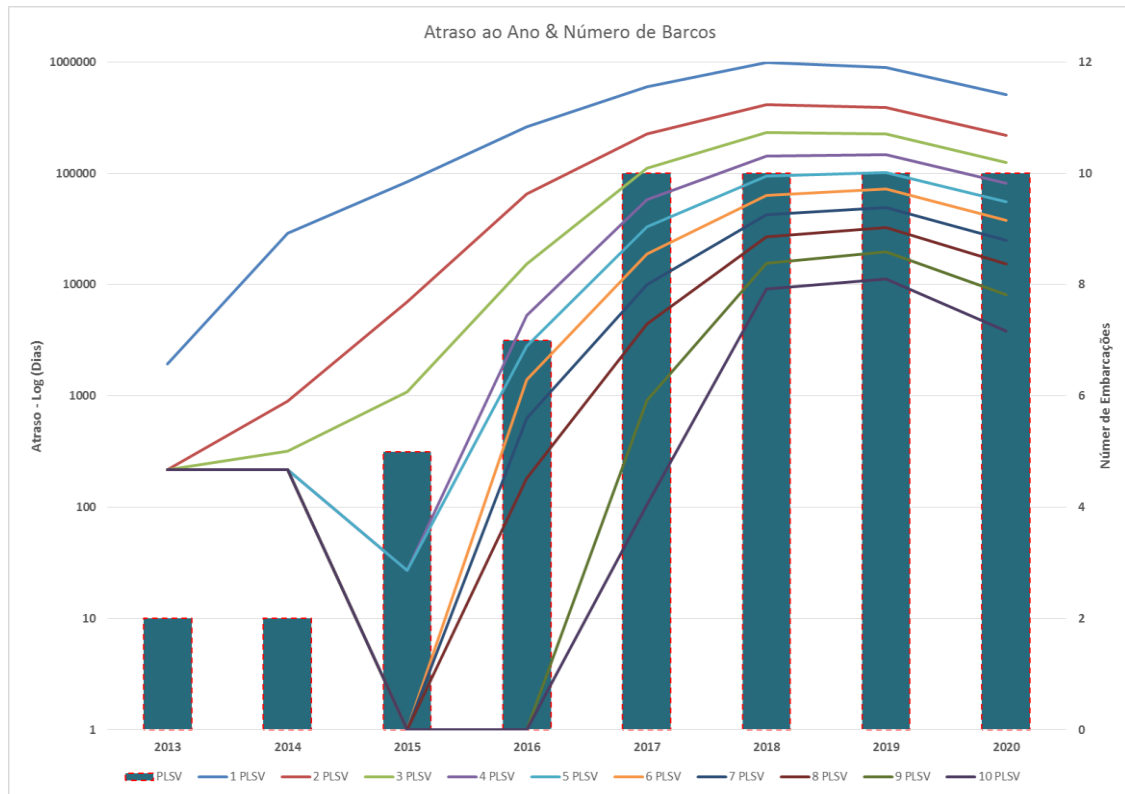


Figura 6: Simulações variando o número de embarcações.

5 Análise de Resultados

Com a validação do modelo finalizada, o estudo prosseguiu com a execução das simulações. A primeira rodada foi inicializada com um *PLSV* disponível e foram sendo acrescentados novas embarcações após cada análise de VPL que resultou da simulação. Para apoiar, ou não, a inclusão de novas embarcações em um ano específico o critério utilizado foi a quantidade de dias de atraso. No entanto, para confirmar se a entrada da nova embarcação gerou algum valor, analisava-se o de aumento do VPL, se este existisse o *PLSV* era mantido, senão, era retirado.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

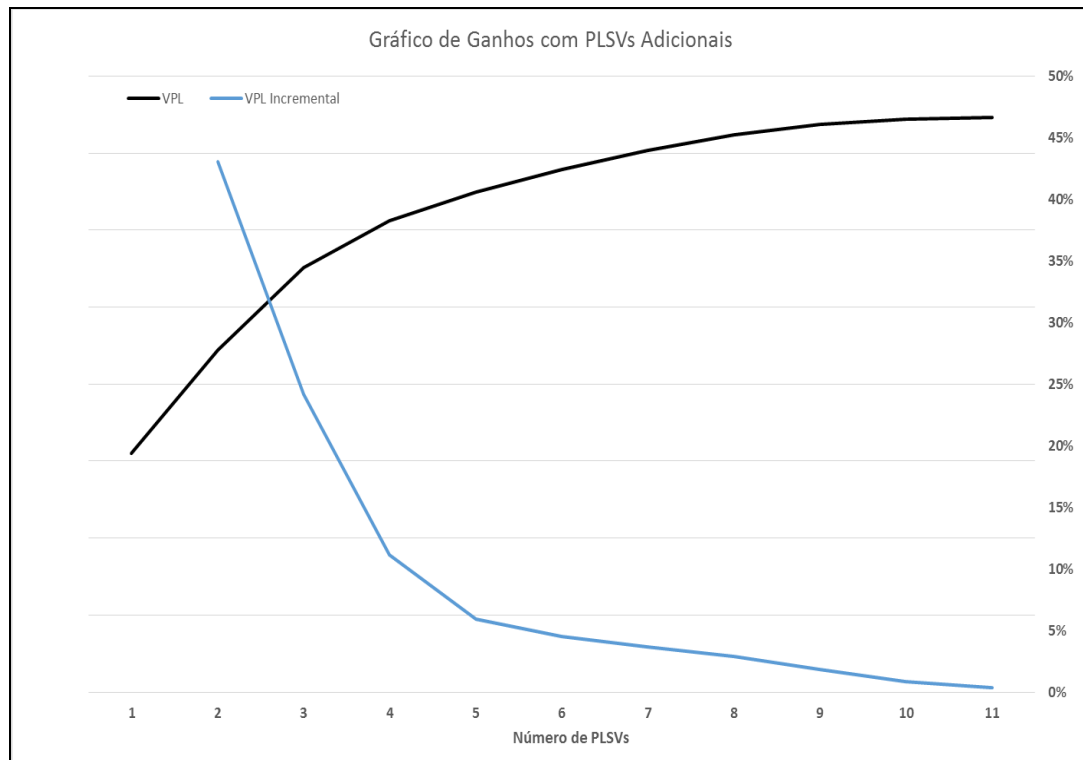


Figura 7: Gráfico contendo o valor agregado ao projeto com a adição de novas embarcações.

É importante frisar que para este estudo é de maior valor a apresentação do incremento no VPL gerado pela adição das embarcações. Tendo em vista que não se possui os valores exatos que constam no planejamento oficial da companhia, os resultados serão limitados ao comportamento dos ganhos dos projetos e também à valores incrementais.

Ao se analisar a Figura 7 é importante ter-se em mente que a curva do VPL está relacionada com o eixo primário, não mostrado por razões previamente citadas. Da Figura 4 pode-se observar os ganhos obtidos com o acréscimo de PLSVs. A curva preta representa o comportamento do VPL a cada vez que uma nova embarcação é incluída. É visível que há um grande aumento com as primeiras entradas de novos PLSVs e que a curva tende a ser constante com a entrada de mais navios. Outra curva importante de ser observada no Figura 4 é a de cor azul, que mostra o percentual acrescido no VPL.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

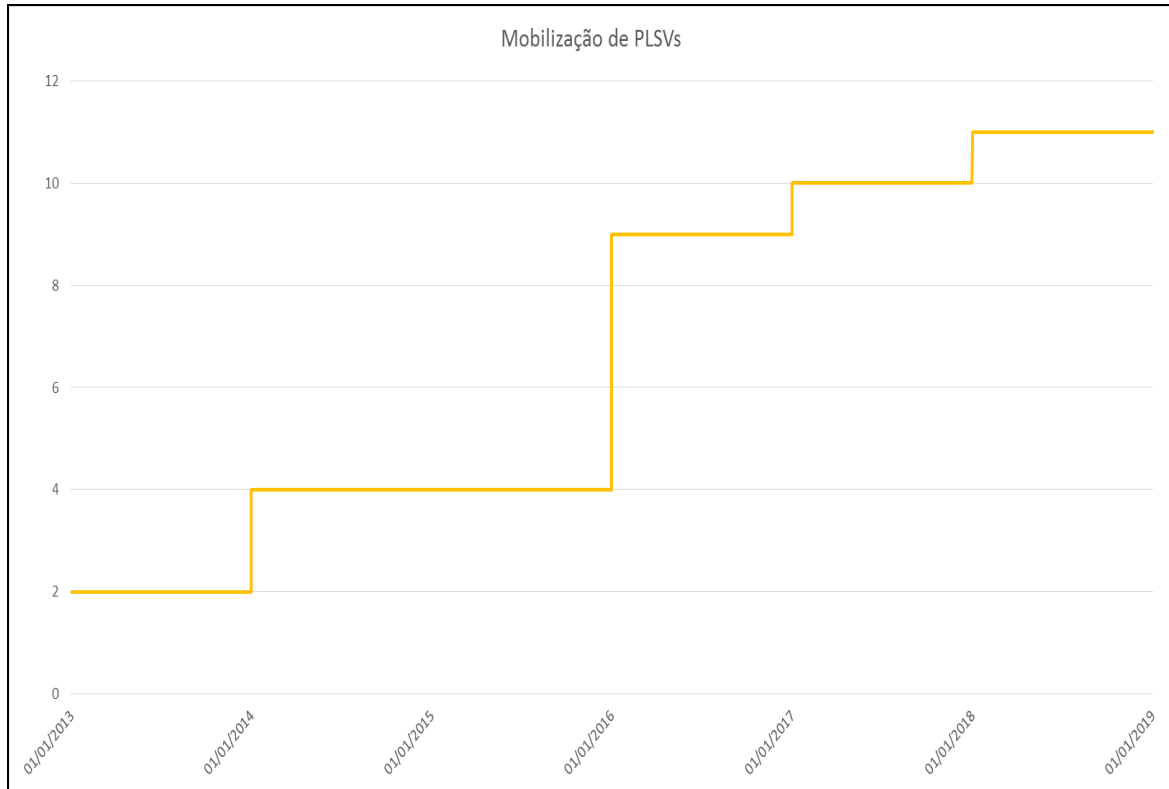


Figura 8: Curva de mobilização de embarcações.

A Figura 8 apresenta a mobilização final utilizada para as simulações. É visível que em 2016 se tem o maior salto em número de PLSVs, isso é devido ao grande número de chegando, o que cria um aumento de demanda.

Para ajudar a explicar o aumento causado no VPL pela adição de embarcações, foi plotada a curva de produção obtida para cada caso que pode ser observada na Figura 9. Da mesma forma que o VPL, pode-se averiguar que o ganho em produção também foi diminuído.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

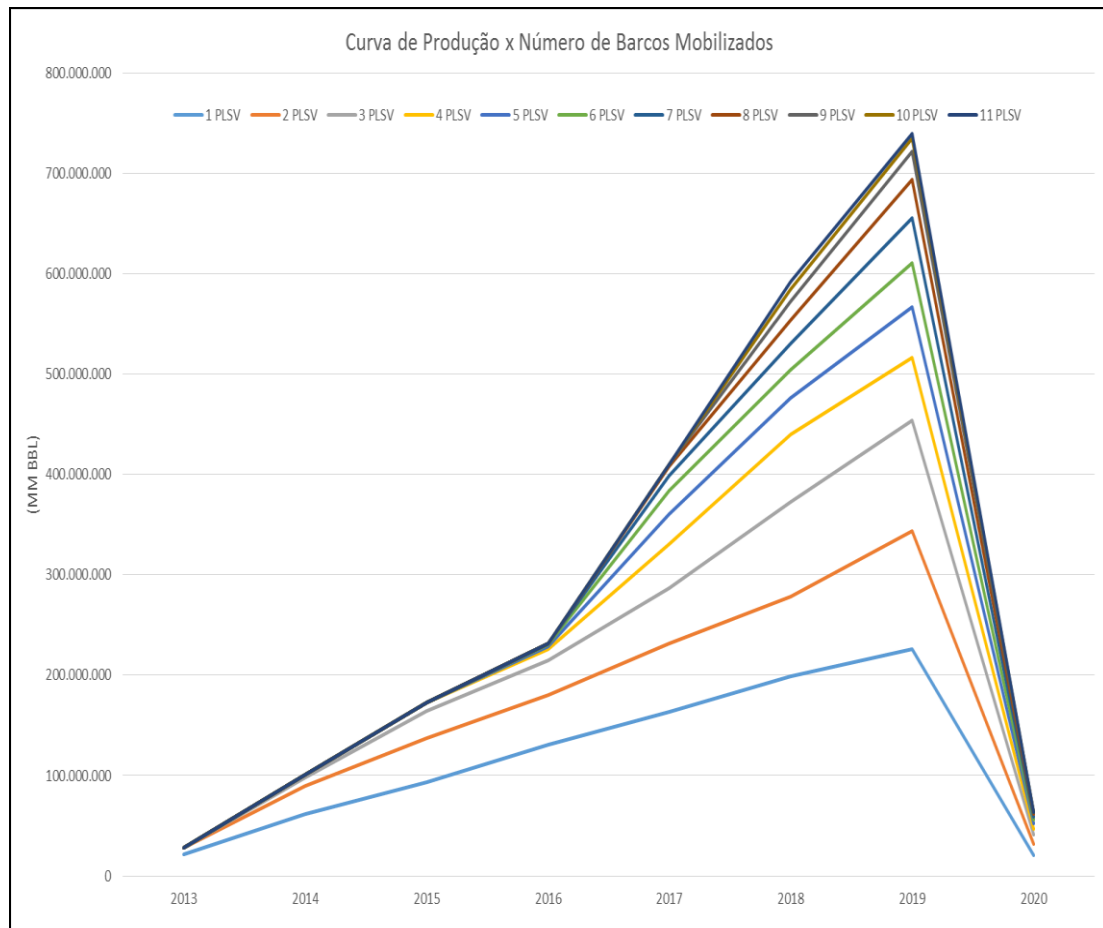


Figura 9: Curva de produção para cada cenário de mobilização de PLSVs

Por fim para garantir a robustez do estudo, foi feita uma análise de sensibilidade do VPL para diferentes taxas de juros. O intuito era observar as possíveis variações que o valor do projeto poderia ter se a taxa variasse. Apesar de ocorrer uma redução no valor absoluto do VPL, o comportamento que o acréscimo de barcos gerou no mesmo se manteve sendo assim mostra-se que a solução alcançada no estudo é robusta e válida para diferentes taxas, a menos que ocorra uma variação muito grande nesta.

6. Conclusões

Deste estudo pode-se concluir que é possível realizar um planejamento logístico, do lançamento de linhas de múltiplos campos de petróleo, utilizando diferentes tipos de técnicas de análise. Os resultados obtidos durante as simulações comprovam a qualidade do modelo e sua extensa capacidade de aplicação.

Com os parâmetros de risco e dados de produção utilizados foi possível justificar a utilização de 11 embarcações lançadoras de linhas. Percebeu-se que devido ao alto índice de

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

lucratividade do produto e a escala em questão justifica-se sem dificuldade a utilização de recursos, por mais especializados ou caros que sejam, desde que estes consigam impactar positivamente o projeto.

O presente estudo teve a sua disposição apenas informações públicas sobre o assunto, e como a província do pré-sal ainda é relativamente nova, ainda não se tem publicado histórico sobre as atividades como: tempo de conexão de linhas, cronogramas de perfuração e completação, tempo de entrega e previsão de atrasos para entrega de equipamentos, tempo de construção de plataformas entre outros.

O mercado acionário apresenta restrições adicionais quanto a pré-divulgação de informações importantes como primeiro óleo de prospectos assim como de poços, sendo estes acessíveis apenas após a ocorrência do evento.

Como extensão deste estudo propõe-se a evolução do modelo incluindo técnicas de otimização buscando determinar o melhor tempo de entrada em operação de cada embarcação. Além disso, é importante a busca de dados técnicos no intuito de se construir um histórico de operações para projetos deste porte e tipo, visando o aperfeiçoamento do modelo através da utilização destes e sua inclusão em simulações futuras.

Os objetivos do estudo foram atingidos. O modelo para a simulação foi elaborado e validado se mostrando robusto e funcional. A heurística de *PLSVs* alocava as embarcações assim como era o objetivo de início; E por fim, foi possível estabelecer um número otimizado de embarcações ao se utilizar o VPL derivado da produção como parâmetro principal a ser otimizado.

Referências

- (1). Cordero, J. M.; Santín, D., & Sicilia, G.,(2015). Testing the accuracy of DEA estimates under endogeneity through a Monte Carlo simulation. *EJOR* 244, P 511-518,.
- (2). Ferraz, Rafael S. B., Baidya, Tara K. N., & Aiube, Fernando A. L., (2007)Análise de Projeto na indústria de petróleo sob condição de incerteza, *XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Foz do Iguaçu, Brasil.
- (3). Gitman, Lawrence. (1992) *Princípios da administração financeira*. São Paulo: Qualitymark,.
- (4). Guimarães, Ana Maria Paiva. (2012) Estudo da Viabilidade de Investimentos em uma Franquia de Ensino Profissionalizante. *Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*. Rio de Janeiro, 2012.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

- (5). Harrel, C.; Ghosh, B. K., & Bowden, R. O. (2004). *Simulation Using Promodel*. 2.ed. McGraw-Hill, New York
- (6). Kleijnen, J. P. C.; Sanchez, S. M.; Lucas, T. W., & Cioppa, T. M. (2005). State-of-the-Art Review: A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments. *Journal on Computing*, 17, 263-289.
- (7). Kruger, J. J. A (2012) Monte carlos study of old and new frontier methods for efficiency measurement. *EJOR* 222, p137-148.
- (8). Mavrosta, George; Pechak, Olena, Siskos, Elefheterios, Doukas, Haris, & Psarras, John, (2015) Robustness analysis in Multi-Objective Mathematical Programming using Monte Carlo Simutaion, *EJOR*, 240, p193-201.
- (9). Mendes, Angélica Alebrant, & Ribeiro, José Luis Duarte (2014) Estabelecimento de um plano de manutenção baseado em análises quantitativas no contexto da MCC em um cenário de produção JIT. *Prod.*, Set 2014, vol.24, no.3, p.675-686.
- (10). Mendes, Marcos H. (2014) O Poder das Distribuições de Probabilidade para Alcançar Melhores Decisões. Apresentação da Empresa Palisade [Internet]. 2009. Disponível em: http://www.palisade.com/downloads/UserConf/BR11/2011_MelhoresDecisooes_Huber.pdf. Acesso em: janeiro de 2014.
- (11). Merrow, Edward. (2011) Oil and Gas Industry Megaprojects: Our Recent Track Record. Offshore Technology Conference. Rio de Janeiro: 2011. Disponível em: <http://www.projectcontrolsonline.com/portals/0/primvera-com-au/Oil-and-Gas-Industry-Megaprojects--Our-Recent-Trac.pdf>.
- (12). Montevechi, José Arnaldo Barra, Costa, Rafael Florêncio da Silva, Miranda, Rafael de Carvalho, & Pinho, Alexandre Ferreira de (2014) Aplicação do planejamento de experimentos simulados para auxílio à tomada de decisões em uma célula de manufatura de alta tecnologia. *PODES* v.6, n.1, p. 35-53, janeiro a abril.
- (13). Moura, Vitor Cavinato.(2012) *Programação de Frota de Embarcações de Lançamento de Dutos*. Universidade de São Paulo. São Paulo: 2012. Tese de Mestrado.
- (14). Oliveira, R.B.M., Corrêa, V.A., Nunes, L.E.N.P (2014) Mapeamento do fluxo de valor em um modelo de simulação computacional. *Revista Produção Online*, Florianópolis, SC, v.14, n. 3, p. 837-861, jul./set.
- (15). Petrobras (a), (2014)Fatos-e-dados. Blog [Internet]. “Descoberta no Pré sal da Bacia de Santos”. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/noticias/descoberta-no-pre-sal-da-bacia-de-santos/>. Acessado em 15 de abril de 2014.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

- (16). Petrobras (b), (2014) Fatos-e-dados. Blog [Internet]. “Batemos sucessivos recordes de produção no pré-sal”. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/batemos-sucessivos-recordes-de-producao-no-pre-sal.htm>. Acessado em 15 de abril de 2014.
- (17). Petrobras (c), (2014) Fatos-e-dados. Blog [Internet]. “Novos poços aumentarão produção no pré-sal em 2014”. Disponível em: <http://fatosedados.blogspetrobras.com.br/2014/01/29/novos-pocos-aumentarao-producao-no-pre-sal-em-2014.htm>. Acessado em 15 de abril de 2014.
- (18). Rabechini, Junior Roque;& Carvalho Marly. (2013), Relacionamento entre gerenciamento de risco e sucesso de projetos. *Produção*, 23 (3), 570-581.
- (19). Samanez, Carlos Patrício (2002) *Matemática Financeira: Aplicações à Análise de Investimentos*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- (20). Santos, Mauricio Pereira. (1999) *Introdução a Simulação Discreta*. Rio de Janeiro. Editora: Copyright.
- (21). Silva, Aneirson Francisco, Silva, Maria de Fátima Ferreira, & Marins, Fernando Augusto Silva. (2014) Otimização estocástica com múltiplos objetivos e Simulação de Monte Carlo no desenvolvimento de estratégias de vendas **PODES** v.6, n.1, p. 35-53, janeiro a abril.
- (22). Silva, Bruno N., Gomes, Leonardo L., & Medeiros, Rodrigo, L. (2006), Análise de Risco de Projetos de Desenvolvimento de Produção Marítima de Petróleo: Um estudo de caso. *Brazilian Business Review*, 3 (2), 229-244.
- (23). Silveira,M.C., Anzanello, M.J., & Etcheverry, G.V., (2014) Programação de produção via seleção de variáveis e simulação de Monte Carlo Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.14, n. 2, p. 764-788, abr./jun.
- (24). Taylor, Scott; & Hiner, Michael(2011). Permanent Borehole Seismic in Ultradeep Offshore Appraisal Wells. *Offshore Technology Conference 2011*. Rio de Janeiro.
- (25). Turrone, Carlos Henrique Pereira, & Soares de Mello, João Carlos.(2012) Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção. Itajubá: 2012. UNIFEI
- (26). Yoriyaz, Hélio. (2009). Método de Monte Carlo: Princípios e Aplicações em Física Médica. *Revista de Física Médica*. 3 (1), 141-149.