

Aplicação de Dinâmica de Sistemas ao estudo do comportamento das taxas diárias de aluguel de sondas de perfuração *off-shore*

Lúcia Rosenblatt (UFRJ) luciarosenblatt@yahoo.com.br

Amarildo da Cruz Fernandes (UFRJ) acruzfe@ig.com.br

1 Resumo

Esse trabalho pretende modelar, através da abordagem da Dinâmica de Sistemas, o funcionamento do mercado de sondas de perfuração de poços de petróleo, tendo como principal objetivo uma maior compreensão a respeito dos fatores que têm influência sobre as taxas diárias de aluguel desses equipamentos.

A abordagem selecionada para o estudo do comportamento dos preços de aluguel de sondas é a Dinâmica de Sistemas. Trata-se de uma metodologia que explicita os inter-relacionamentos entre as diversas variáveis de um sistema, permitindo a visualização das conseqüências internas de estímulos gerados internamente. Foi escolhida por sua capacidade de auxiliar a compreensão a respeito dos sistemas modelados.

Palavras-chave: Sondas de Perfuração, Petróleo, Dinâmica de Sistemas, Preços

2 Introdução

A indústria brasileira de petróleo tem como característica o grande esforço exploratório offshore, já que os maiores reservatórios do país encontram-se no mar. É cada vez mais comum no Brasil o uso e desenvolvimento de tecnologias caras para perfuração de poços em águas profundas e ultra-profundas (superior de 3.000 metros), o que exige grandes investimentos na etapa de perfuração, chegando à ordem de dezenas de milhões de dólares.

As sondas de perfuração, equipamento central do processo, são alugadas a taxas diárias elevadas – da ordem de centenas de milhares de dólares – representando grande parte desse investimento. Os valores de aluguel seguem regras de mercado como qualquer outro equipamento. Assim, dependem de uma relação entre tamanho da frota mundial de sondas – oferta – e da quantidade de sondas em uso – demanda.

Dado a grande importância do valor da tarifa diária de sondas *offshore* nos investimentos em exploração de petróleo, é de grande relevância o estudo do comportamento do mercado – regido por oferta e demanda – e dos fatores que influenciam as diárias.

A abordagem selecionada para o estudo do comportamento dos preços de aluguel de sondas é a Dinâmica de Sistemas. Trata-se de uma metodologia que explicita os inter-relacionamentos entre as diversas variáveis de um sistema, permitindo a visualização das conseqüências internas de estímulos gerados internamente. Foi escolhida por sua notável capacidade de auxiliar a compreensão e aprendizado a respeito dos sistemas modelados.

Esse trabalho pretende modelar, através da abordagem da Dinâmica de Sistemas, o funcionamento do mercado de sondas de perfuração de poços de petróleo, tendo como

principal objetivo uma maior compreensão a respeito dos fatores que têm influência sobre as taxas diárias de aluguel desses equipamentos.

O maior conhecimento do comportamento dinâmico das taxas de aluguel dos equipamentos beneficia tanto as empresas proprietárias de sondas quanto as contratantes, da seguinte maneira:

- Oferece subsídio para a decisão de construção de novas unidades, protegendo as empresas fornecedoras das quedas bruscas nos preços ocasionadas por excesso de oferta.
- Com mais conhecimento sobre a dinâmica das taxas diárias, as empresas contratantes podem negociar melhor a duração dos contratos, ou antecipar sua renovação a fim de evitar fazê-lo em momentos de alta de preço e pagar os valores mais altos.

2.1 Estrutura do Trabalho

A primeira seção do trabalho trata das sondas de perfuração, e suas principais classificações. Logo após, é apresentado o funcionamento do mercado internacional de sondas de perfuração de poços de petróleo. Nessa parte são explicitados os principais fatores que influenciam os valores das diárias, a oferta e a demanda de sondas, bem como um breve histórico do setor.

A seção seguinte descreve o modelo e a própria metodologia utilizada para seu desenvolvimento. São explicitadas as variáveis incluídas no modelo, a investigação dos relacionamentos entre elas, o diagrama final e uma análise dos resultados obtidos.

A conclusão do estudo discute sua eficácia em explicar os relacionamentos entre as variáveis e o comportamento das tarifas de aluguel de sondas. Mostra também as questões e conclusões a respeito do sistema modelado levantadas através do modelo. Além disso, aponta oportunidades de estudos futuros, como a simulação de cenários a partir do modelo.

3 Sondas de Perfuração

3.1 Classificação das Sondas de Perfuração

As sondas utilizadas na perfuração de poços de petróleo são classificadas de acordo com sua utilização. Se a perfuração ocorrer em terra - conhecida como *onshore* - o equipamento utilizado possui brocas que giram para romper a rocha, trazendo até a superfície o material extraído do subsolo. As sondas de perfuração terrestres são muito semelhantes entre si. Uma das variantes é o transporte para chegar ao local a ser perfurado.

O sistema de perfuração marítima, *offshore*, segue os mesmos moldes da terrestre, contudo, as sondas marítimas diferem entre si por se adequarem às diferentes profundidades em que atuam. Esses equipamentos são instalados em plataformas fixas, móveis (auto-eleváveis ou semi-submersíveis) ou sobre navios, como descrito a seguir.

Plataformas Fixas

São instaladas em campos localizados em lâminas d'água de até 300 metros. Elas possuem a vantagem de serem completamente estáveis até nas piores condições do mar. A instalação

dos equipamentos no local de operação é feita com estacas cravadas no solo marinho.

Plataformas Auto-eleváveis - são constituídas basicamente de uma balsa equipada com estrutura de apoio, ou pernas, que, acionadas mecânica ou hidráulicamente, movimentam-se para baixo até atingirem o fundo do mar. A plataforma é elevada acima do nível da água, a uma altura segura e fora da ação das ondas. Essas plataformas são móveis, sendo transportadas por rebocadores ou por propulsão própria. Destinam-se à perfuração de poços exploratórios na plataforma continental, em lâmina d'água que variam de 5 a 130m - na zona situada entre a praia e o início dos abismos oceânicos.

Plataformas Submersíveis - tipo de plataforma é pouco utilizado pois só opera em locais de águas calmas, tipicamente rios e baías com pequena lâmina d'água. Constistem de uma estrutura montada sobre um flutuador, e são levadas por rebocadores até o local de perfuração, onde são lastreadas até que seu casco se apóie no fundo.

Plataformas Flutuantes - podem ser de dois tipos:

A. *Plataformas Semi-Submersíveis* - são compostas de uma estrutura de um ou mais conveses, apoiada em flutuadores submersos. Uma unidade flutuante sofre movimentações devido à ação das ondas, correntes e ventos, com possibilidade de danificar os equipamentos a serem descidos no poço. Por isso, torna-se necessário que ela fique posicionada na superfície do mar, dentro de um círculo com raio de tolerância ditado pelos equipamentos de subsuperfície, operação esta a ser realizada em lamina d'água. Dois tipos de sistema são responsáveis pelo posicionamento da unidade flutuante: o sistema de ancoragem e o sistema de posicionamento dinâmico.

Apresentam grande mobilidade, sendo as preferidas para a perfuração de poços exploratórios. A profundidade de operação das plataformas que apresentam sistema de ancoragem é limitada, enquanto que as que utilizam o posicionamento dinâmico podem perfurar em águas de cerca de 5000 metros de profundidade.

B. *Navios-Sonda* - são navios projetados para a perfuração de poços submarinos situados em águas muito profundas. Da mesma forma que as plataformas semi-submersíveis, os navios mais modernos são equipados com sistemas de posicionamento dinâmico.

Proporcionam algumas vantagens em relação aos outros tipos de plataformas: grande capacidade de estocagem, perfuração de poços em qualquer profundidade e operação sem a necessidade de barcos de apoio ou de serviços.

Plataforma Tension Leg - semelhante à semi-submersível, porém suas pernas principais são ancoradas no fundo do mar por meio de cabos tubulares. São utilizadas no desenvolvimento de campos.

4 O Mercado de Sondas de Perfuração

4.1 Principais Atores

O mercado de sondas de perfuração é constituído por uma frota internacional e móvel, dominado por grandes empresas. Ao contrário do que acontece com as sondas de produção de óleo e gás, nenhum país possui frota própria de sondas de perfuração.

A Tabela 1 apresenta o número de sondas de operação em águas profundas (lâmina d'água superior a 3000m) por empresa proprietária em maio de 2006. Foram consideradas sondas semi-submersíveis e navios-sonda alocados em todos os continentes. Pode-se perceber que num mercado formado por 39 companhias, as três maiores (*Transocean*, *Diamond Offshore* e *Noble*) detêm mais de 49% de toda a oferta de sondas com essas especificações.

Empresa	Tamanho da Frota (sondas)	Participação	Somatório
Transocean	34	26.98%	27.0%
Diamond Offshore	15	11.90%	38.9%
Noble	13	10.32%	49.2%
GlobalSantaFe	7	5.56%	54.8%
Pride	5	3.97%	58.7%
Outras (34 empresas)	52	41.27%	100.0%
Total	126		

Tabela 1 - Tamanho da Frota de Perfuração em Águas Profundas por Empresa Proprietária

Fonte: ODS-Petrodata (2006)

As empresas produtoras de óleo e gás afretam as embarcações e utilizam os serviços das empresas proprietárias de sondas através de contratos de duração variável. Atualmente, os contratos têm duração medida em anos. Em períodos de desaquecimento do mercado, é possível contratar o serviço de perfuração de um único poço, o que pode levar aproximadamente três meses.

A empresa que afreta uma sonda é conhecida como a operadora daquele equipamento, pois é quem define quais poços serão perfurados – localização e especificações - durante a vigência daquele contrato. A Tabela 2 mostra o tamanho da frota de perfuração em águas profundas operada pelas principais companhias em maio de 2006. De um total de 25 empresas operando sondas em águas profundas, as quatro maiores (Petrobras, BP, Total e Shell) são responsáveis pela operação de 50% delas.

Operador	Tamanho da Frota (Sondas)	Participação	Somatório
Petrobras	23	26.1%	26.1%
BP	9	10.2%	36.4%
Total	6	6.8%	43.2%
Shell	6	6.8%	50.0%
Kerr-McGee	5	5.7%	55.7%
ExxonMobil	5	5.7%	61.4%
Outras (19 empresas)	34	38.0%	100.0%
Total	88		

Tabela 2 - Tamanho da Frota de Perfuração em Águas Profundas por Empresa Operadora Fonte:

ODS-Petrodata (2006)

Deve-se perceber que apesar de a perfuração de poços ser uma atividade de alto risco, as empresas dedicadas a essa atividade não são diretamente afetadas. O produto que devem entregar é o poço perfurado e são remuneradas por dia de operação, independentemente do

resultado daquela campanha em termos de volume de óleo encontrado.

4.2 Oferta e Demanda

4.2.1 Oferta

A oferta de sondas de perfuração de poços está fortemente relacionada com as tarifas diárias de sondas, já que quanto mais altos os valores envolvidos nos contratos, maior o interesse em oferecer os equipamentos. Porém, sabe-se que além da oferta ser fortemente influenciada pelas tarifas diárias de sondas, ela é fator de grande peso na própria formação desses preços, definidos pelo mercado através do desequilíbrio entre oferta e demanda.

Como principal fator limitador da oferta encontra-se a capacidade de construção de sondas, definida através do número de estaleiros capacitados. De acordo com o editorial da *Offshore Rig Monthly* de março de 2006, atualmente há indícios de saturação da capacidade de construção, e estaleiros com pouca ou nenhuma experiência no setor já começam a ser contratados.

Outro fator que influencia indiretamente a oferta é o tempo de construção. Dado que uma sonda leva aproximadamente dois anos para ficar pronta, é comum que em períodos de aquecimento do setor várias unidades comecem a ser construídas simultaneamente. Como a frota em construção leva algum tempo para entrar no mercado e provocar redução no valor dos contratos, é comum que sejam construídas mais sondas que o necessário. Quando todas elas ficam prontas acaba ocorrendo excesso de oferta. Esse comportamento pode ser observado no Gráfico 1, que compara oferta total, oferta efetiva¹ e demanda de sondas.

Algumas empresas do setor já começam a se precaver contra a ociosidade de sua frota através de alguns artifícios. Em muitos casos, uma sonda nova só começa a ser construída com um contrato de no mínimo cinco anos de operação assinado. Porém, essas iniciativas ainda são insipientes para a proteção do setor como um todo.

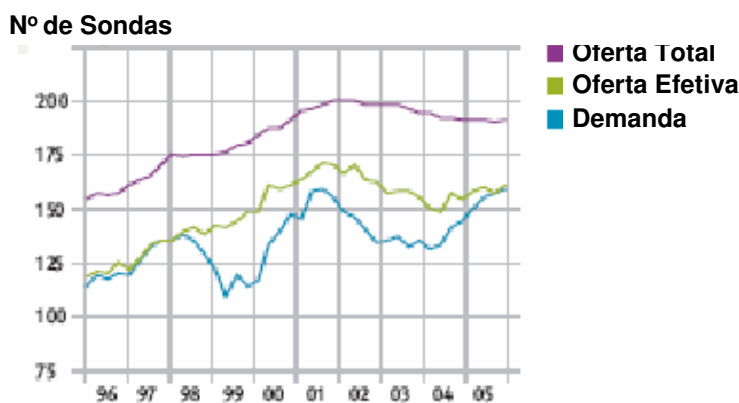


Gráfico 1 - Desenvolvimento do Mercado de Sondas Fonte: RS Platou Offshore, 2005

¹ Oferta efetiva: Número de sondas que podem ser operadas no período. É a oferta total de sondas reduzida das que estão em manutenção.

4.2.2 Demanda

O preço do óleo influencia fortemente a demanda por sondas de perfuração. Isso porque o óleo a preços mais altos viabiliza mais projetos na área de E&P, e mesmo a perfuração de mais poços exploratórios. Tal relação é demonstrada numericamente a seguir:

O

Gráfico 2 apresenta a evolução das variáveis preço do óleo e sondas em operação (representativa da demanda) ao longo do tempo. O número de sondas em operação, extraído da publicação Baker Hughes Incorporated Worldwide Rig Count (2006), representa a quantidade média anual de sondas em atividade² no mundo. Sondas em trânsito, perfurando menos de 15 dias no mês ou utilizadas para outras atividades como teste de produção ou completação de poços não estão incluídas nesses números. O valor do barril de óleo foi extraído da BP Statistical Review of World Energy (2006) e representa o valor do barril de óleo cru em dólares de janeiro de 2004.

Através do gráfico, pode-se inferir que há similaridades entre a evolução do preço do óleo e da quantidade de sondas em operação no mundo ao longo do tempo, sendo que a curva do número de sondas parece estar defasada com relação à do preço do óleo. Observou-se uma forte correlação entre as variáveis, com R^2 próximo de 88%.

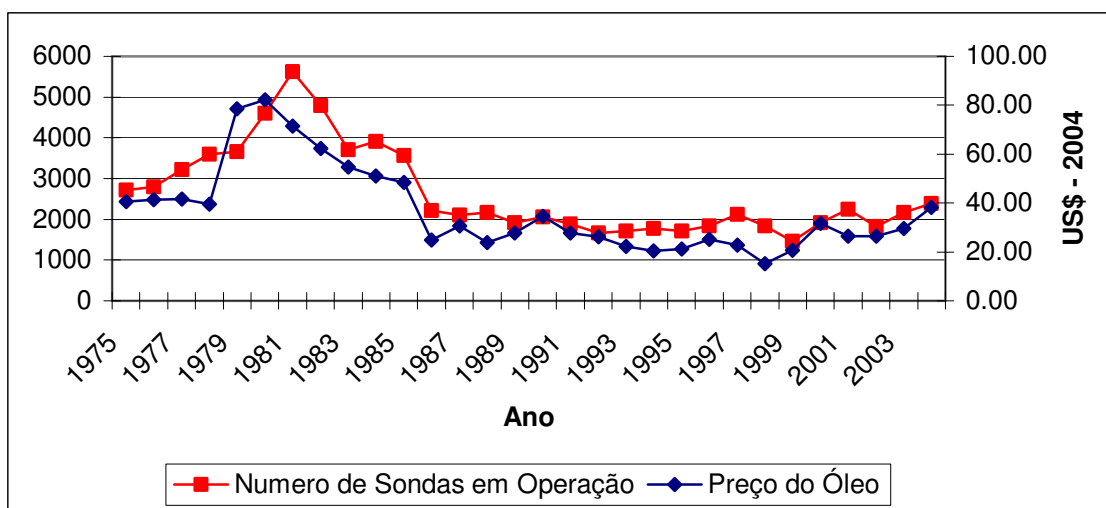


Gráfico 2 - Evolução Temporal do Número de Sondas em Operação e Preço do Óleo

Fonte: Baker Hughes (2006), British Petroleum (2005)

4.3 Valor dos Contratos

O valor dos contratos é estabelecido em tarifas diárias, que num determinado momento podem variar com a região em que a sonda está operando, com suas características técnicas e com a duração do contrato propriamente dito. Além disso, ao longo do tempo o valor dos

² Sondas em atividade num mês: aquelas que exerceram atividade de perfuração por no mínimo 15 dias no período; sondas em trânsito não são consideradas ativas.

contratos varia principalmente de acordo com a defasagem entre a quantidade demandada e ofertada de sondas. O comportamento do valor dos contratos ao longo do tempo é o principal objeto de estudo desse trabalho.

No Gráfico 3 pode-se observar a evolução da tarifa de sondas semi-submersíveis ao longo dos anos. É perceptível que as variações de preço acompanham a curva de utilização percentual. Numa segunda análise, percebe-se que a curva de preços tem comportamento cíclico, alternando períodos de alta e baixa, e atingindo picos maiores a cada ciclo. A tendência geral da curva é crescente. Assim, os editoriais de publicações como a *RS Platou Offshore Rig Market Status Report* (2006) e a *ODS-Petrodata Offshore Rig Monthly* (2006) expõem a preocupação do setor com relação à alta acentuada de preços no período, e não sem razão antevêm uma queda brusca de preços como a ocorrida em 1998 e conseqüente crise do setor.

O modelo desenvolvido nesse trabalho tem como principal objetivo explicar o comportamento dessa curva, com oscilações periódicas e tendência de crescimento no longo prazo.

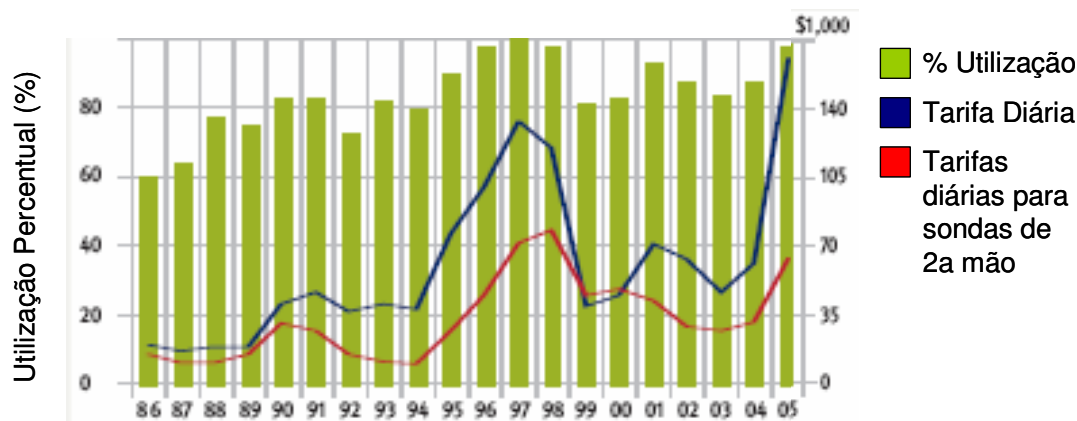


Gráfico 3 - Evolução de Preços e Utilização Percentual de Sondas Semi-Submersíveis

Fonte: RS Platou Offshore, 2005

5 Modelagem do Problema das Tarifas de Sondas

5.1 O Método de Modelagem

A modelagem através da Dinâmica de Sistemas prevê determinadas etapas, que foram seguidas nesse estudo conforme a descrição a seguir:

Primeiramente realizou-se uma revisão da literatura, onde foram buscados estudos que abordassem temas relacionados ao mercado de sondas através da Dinâmica de Sistemas. Nesse sentido, foram encontradas algumas análises relevantes que posteriormente serviram como base para que se chegasse ao modelo em questão. Além disso, nessa fase chegou-se à formulação final do problema e foi definido que seria relevante um estudo que explicasse o

comportamento das diárias de sondas no tempo.

O modelo foi desenvolvido iterativamente em duas frentes: o Diagrama de Enlaces Causais e o Diagrama de Fluxos e Estoques. Através de entrevistas com especialistas e da revisão bibliográfica foram selecionadas as variáveis de maior importância para o estudo do problema. Então foram estabelecidos relacionamentos hipotéticos entre elas, explicitando o modelo mental construído com a pesquisa. Esses relacionamentos foram confirmados através dos dados disponíveis e de consultas a profissionais do setor.

O ciclo de desenvolvimento dos diagramas se deu da seguinte forma: as primeiras variáveis e relacionamentos hipotéticos foram arrumados num Diagrama de Enlaces Causais, e esses relacionamentos foram então traduzidos em forma de fluxos, estoques e conversores no Diagrama de Fluxos e Estoques. Através da discussão e análise sobre as duas representações, as variáveis e relacionamentos da representação de Enlaces Causais foram alterados, gerando revisões do Diagrama de Fluxos e Estoques. O processo se repetiu até que chegou-se à versão final do modelo descrita na sessão 5.2 a seguir.

É importante ressaltar que mesmo com a construção do Diagrama de Fluxos e Estoques, o modelo final construído para este estudo limita-se a uma abordagem qualitativa das variáveis e suas relações. Isso porque não foram desenvolvidas relações matemáticas que expliquem essas relações, podendo estas serem desenvolvidas em um estudo posterior.

Assim, o modelo a ser descrito busca a compreensão qualitativa dos padrões de comportamento da tarifa diária de sondas ao longo do tempo e dos fatores que afetam essa variável. Em estudos futuros, será possível inserir equações e valores numéricos no modelo criado a fim de realizar simulações.

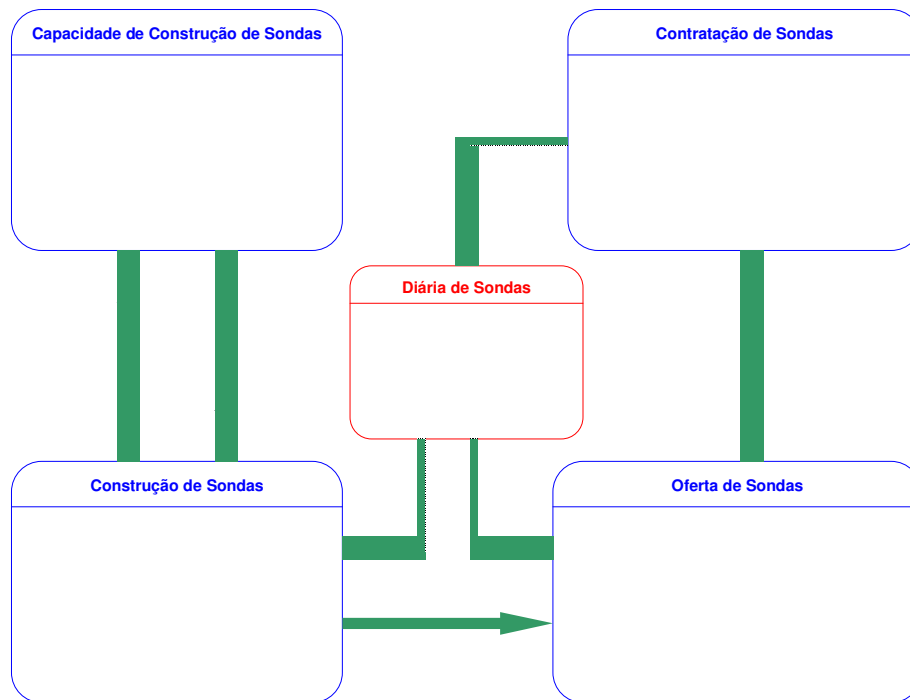
5.2 Descrição do Modelo

5.2.1 Setorização do Modelo

A fim de facilitar a leitura dos diagramas – e portanto aumentar o poder de compreensão do modelo mental de quem o criou – estes foram divididos em cinco setores, a saber:

- Contratação de Sondas;
- Oferta de Sondas;
- Construção de Sondas;
- Capacidade de Construção de Sondas;
- Diária de Sondas.

A separação em setores foi utilizada tanto no Diagrama de Enlaces Causais quanto no Diagrama de Fluxos e Estoques. O relacionamento entre os setores é exibido na Figura 1.



LEGENDA:



-  Relacionamento através de conectores
-  Relacionamento através de um fluxo entre dois estoques

Figura 1 - Divisão do Modelo em Setores

5.2.2 Diagrama de Enlaces Causais

A versão final do Diagrama de Enlaces Causais, representando o modelo mental criado acerca do sistema, é apresentada na Figura 2, na página seguinte.

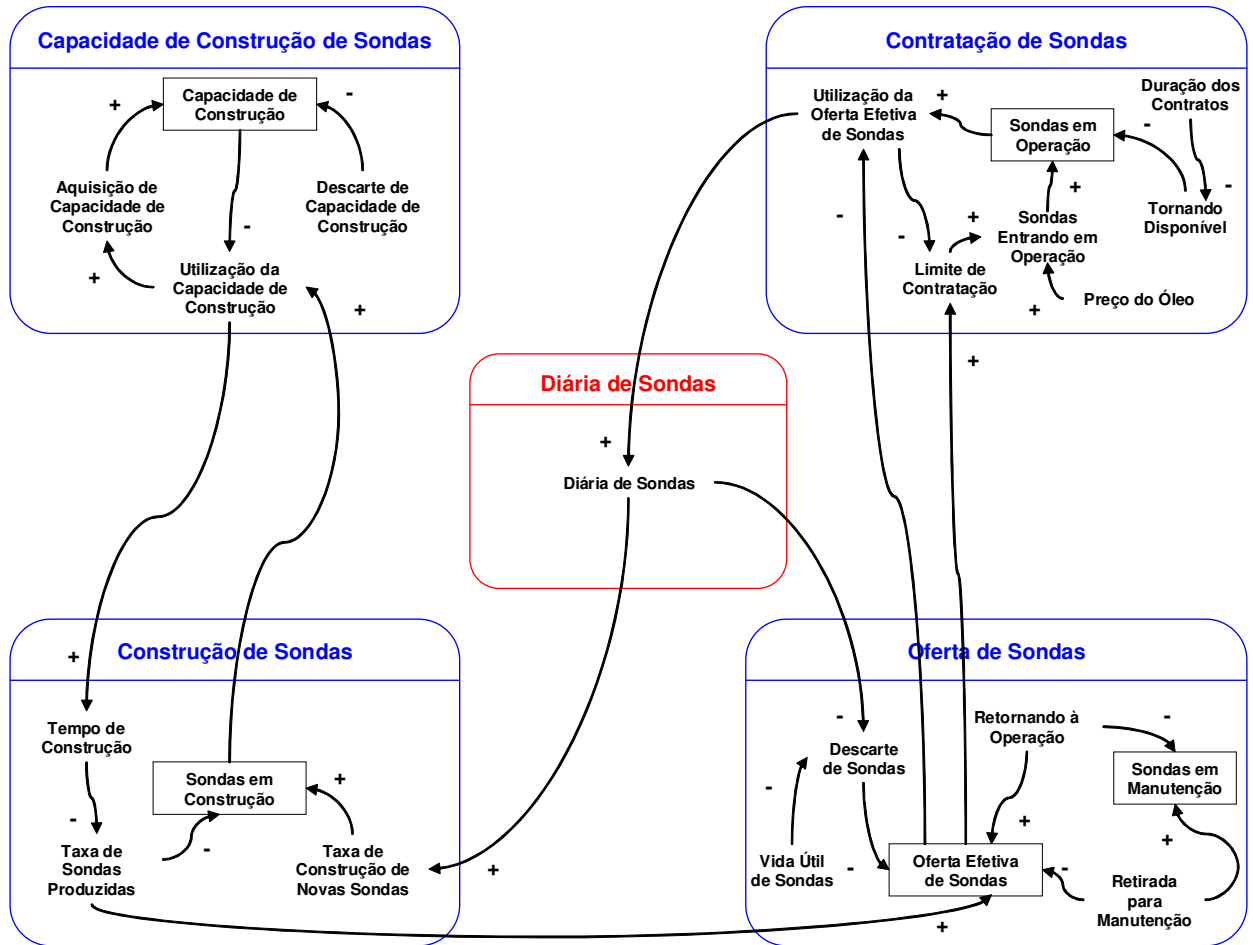


Figura 2 - Diagrama de Enlaces Causais

5.2.3 Variáveis e Relacionamentos dos Setores

Setor 1 - Contratação de Sondas:

- Preço do Óleo

Preço do Brent em cada período. Influencia positivamente a variável *Sondas Entrando em Operação*, conforme demonstrado na sessão 3.2.

- Sondass Entrando em Operação

Representa a quantidade de sondas cujo contrato se inicia ao longo do tempo, passando a operar. Sendo assim, influencia positivamente a variável *Sondas em Operação*.

- Sondass Em Operação

O número de sondas que está operando em cada período. Influencia positivamente a variável *Utilização da Oferta Efetiva de Sondas*.

- Tornando Disponível

Representa a quantidade de sondas cujo contrato termina, deixando de operar e tornando-se disponíveis para contratação. Influencia negativamente o *Número de Sondas Em Operação*.

- Duração Dos Contratos

É a duração, em períodos, dos contratos de operação de sondas. Influencia negativamente a variável *Tornando Disponível*, já que quanto maior a duração dos contratos, menos sondas se deixam de operar em cada período.

- Utilização da Oferta Efetiva de Sondas

Percentual de *Sondas em Operação*, com relação à *Oferta Efetiva de Sondas*. Tem influência negativa sobre o *Limite de Contratação*, já que quanto maior o percentual de sondas utilizadas, menos sondas continuam disponíveis para serem contratadas. Além disso influencia positivamente a *Diária de sondas*, já que uma maior utilização percentual significa um menor *gap* entre oferta e demanda, justificando preços mais altos.

- Limite de Contratação

A quantidade máxima de sondas que pode ser contratada no tempo. Calculado a partir da *Utilização da Oferta Efetiva de Sondas* e da *Oferta Efetiva de Sondas*. Tem influência negativa sobre a variável *Sondas Entrando Em Operação*, limitando seu valor.

Setor 2 - Oferta de Sondas:

- Oferta Efetiva de Sondas

Representa o total de sondas ofertadas no mercado, inclusive as que estão em uso. A frota em manutenção é descontada desse número, por estar imprópria para uso. A Oferta efetiva de sondas afeta positivamente o Limite de Contratação, e negativamente a Utilização da Oferta Efetiva de Sondas, pois quanto maior o número de sondas ofertadas no mercado, maior a quantidade de sondas disponíveis para contratação e menor o percentual de sondas sendo utilizadas dentro do universo de sondas ofertadas.

- Descarte de Sondas

É a quantidade de sondas sucateadas no tempo. Influencia negativamente a Oferta Efetiva de Sondas.

- Vida Útil de Sondas

Trata-se da duração padrão de uma sonda, até que seja inutilizada ou sucateada. Influencia positivamente o Descarte de Sondas.

- Retirada Para Manutenção

É o número de sondas retiradas do mercado para manutenção em cada período.

Influencia negativamente a Oferta Efetiva de Sondas.

- Sondas Em Manutenção

Representa a quantidade de sondas paradas para manutenção no tempo.

- Retornando À Operação

É o número de sondas que voltam ao mercado, após sofrerem algum tipo de manutenção. Influencia negativamente a variável Sondas em Manutenção, e positivamente a Oferta Efetiva de Sondas.

Setor 3 - Construção de Sondas:

- Taxa de Sondas Produzidas

É a quantidade de sondas que ficam prontas, tornando-se disponíveis no mercado. Portanto, essa variável influencia positivamente a variável *Oferta Efetiva de Sondas*, e negativamente a variável *Sondas em Construção*.

- Tempo de Construção

Trata-se do número de períodos necessários para que uma sonda fique pronta, a partir do início de sua construção. Influencia negativamente a *Taxa de Sondas Produzidas*.

- Sondas Em Construção

Representa o número de sondas em construção no tempo. Tem influência positiva sobre a *Utilização da Capacidade de Construção*, pois o aumento do número de *Sondas em Construção*, significa maior ocupação da capacidade de construção existente no sistema.

- Taxa de Construção de Novas Sondas

É o número de sondas que começa a ser construída no tempo. Assim, influencia positivamente a variável *Sondas em Construção*.

Setor 4 - Capacidade de Construção de Sondas:

- Utilização da Capacidade de Construção

Percentual de *Sondas Em Construção*, com relação à *Capacidade de Construção*. Tem influência positiva sobre o *Tempo de Construção*, já que a partir de certo ponto ocasiona saturação dos meios de produção. Além disso influencia positivamente a *Aquisição de capacidade de construção*, dado que uma maior utilização percentual estimularia os fornecedores a adquirirem mais capacidade.

- Aquisição de Capacidade de Construção

Essa variável representa a expansão - em unidades - de capacidade de construção de sondas no tempo, através de ampliação de estaleiros e qualificação de mão-de-obra, entre outros.

- Capacidade de Construção

Representa a capacidade física de construção de sondas, simbolizando o corpo de fornecedores e estaleiros qualificados para operar nesse mercado. Tem influência sobre a *Utilização da Capacidade de Construção*.

- Descarte de Capacidade de Construção

Representa a fração de *Capacidade de Construção* que se perde a cada período, por questão de obsolescência ou depreciação das instalações e equipamentos. Influencia negativamente a *Capacidade de Construção*.

Setor 5 - Diária de Sondas:

- Diária de Sondas

O valor de aluguel diário de sondas. Tem influência positiva sobre a *Taxa de Construção de Novas Sondas*, pois preços altos tornam viável a construção de novas unidades e estimulam os fornecedores a aumentarem sua oferta. Também tem influência negativa sobre o *Descarte de Sondas*, já que quando as diárias estão altas prolonga-se sua utilização além do tempo usual.

5.2.4 Feedbacks

Foram mapeados no modelo seis diferentes *feedbacks*, sendo quatro de equilíbrio e três de reforço, evidenciando sua complexidade. Quatro dessas estruturas envolvem a variável em estudo – *Diária de sondas*. A fim de facilitar sua compreensão, a divisão em setores não aparece na representação dessas estruturas, descritas a seguir.

O primeiro *feedback* de reforço pode ser visto na Figura 3, e mostra que aumentos no valor da *Diária de Sondas* estimulam o mercado a produzir novas sondas. Assim, gera-se um aumento na *Taxa de Construção* e no número de *Sondas em Construção*. O aumento do número de *Sondas em Construção* provoca um crescimento da utilização da capacidade de construção, que faz com que o tempo de construção aumente, reduzindo a *Taxa de Sondas Produzidas*. Essa redução faz com que a oferta efetiva de sondas seja menor do que nos casos em que mais sondas ficam prontas a cada instante. Com o uma menor oferta efetiva de sondas tem-se um aumento da utilização percentual da oferta efetiva de sondas, que faz com que o valor da diária de sondas aumente novamente. Assim, o sistema reage a um aumento da *Diária de Sondas* reforçando esse aumento.

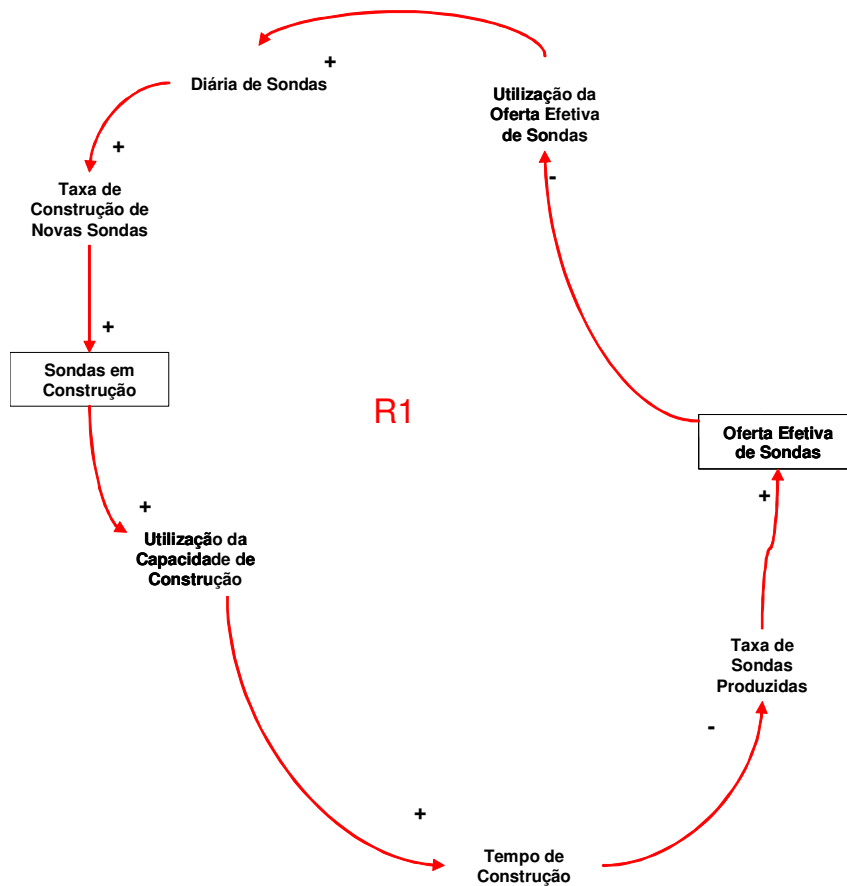


Figura 3 - Primeiro Feedback de Reforço

Segundo *loop* de reforço: o aumento da *Diária de Sondas* provoca uma redução no *Descarte de Sondas*, ocasionando o aumento ou manutenção da *Oferta Efetiva de Sondas*. O aumento dessa variável faz com que o *Limite de Contratação* aumente, aumentando também o número de *Sondas Entrando em Operação* e de *Sondas em Operação*. Com isso, ocorrerá o aumento da *Utilização da Oferta Efetiva de Sondas*, e assim um novo aumento da *Diária de Sondas*.

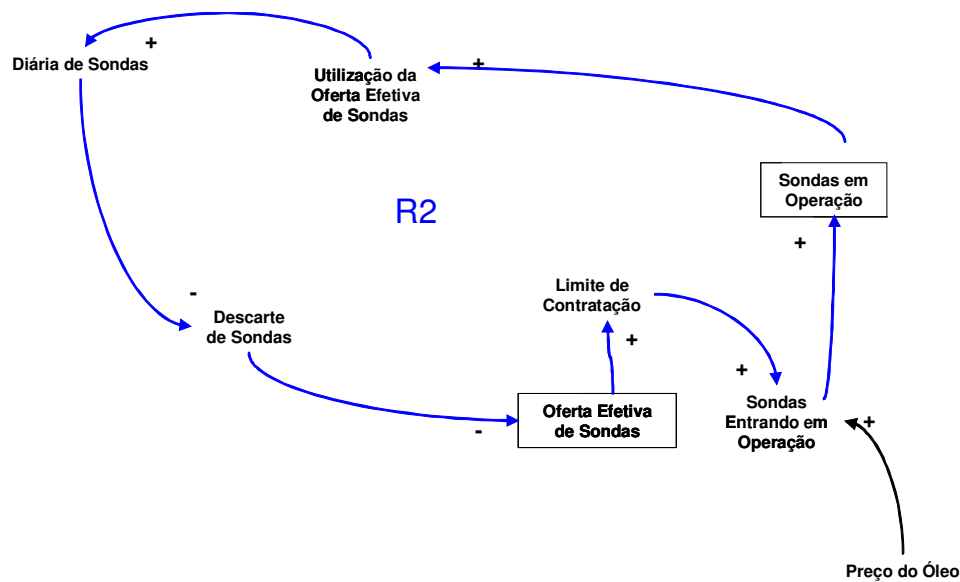


Figura 4 - Segundo Feedback de Reforço

O terceiro *loop* de reforço é exibido na Figura 5 e indica que o sistema responderá a um aumento no número de sondas em construção com um novo aumento desse variável, reforçando esse comportamento. O funcionamento da estrutura é explicado a seguir:

Um aumento do número de sondas em construção produz uma maior utilização percentual da capacidade de construção. A saturação dessa capacidade faz com que o tempo de construção seja aumentado, reduzindo assim a *Taxa de Sondas Produzidas*, fazendo com que as sondas passem mais tempo pertencendo à frota em construção, o que faz com que o número de sondas em construção se torne ainda maior.

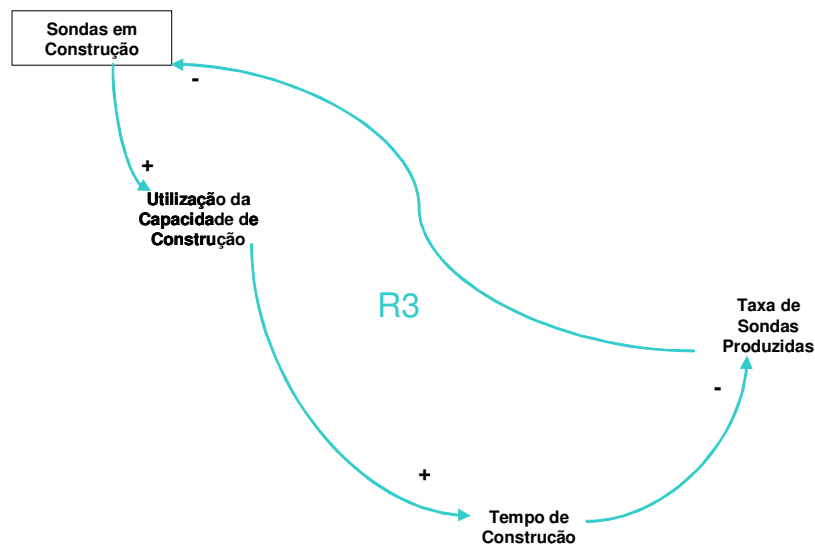


Figura 5 - Terceiro Feedback de Reforço

O primeiro *feedback* de equilíbrio, apresentado na Figura 6, envolve a *Diária de Sondas* da seguinte maneira: o aumento no valor da diária estimula o mercado a produzir novas

sondas, o que gera um aumento na taxa de construção e número de sondas em construção. O aumento do número de sondas em construção provoca o aumento da utilização da capacidade de construção. A saturação da capacidade de construção de sondas faz com que o tempo de construção aumente, reduzindo a *Taxa de Sondas Produzidas*. Essa redução faz com que a oferta efetiva de sondas seja menor do que nos casos em que mais sondas ficam prontas. Se há uma menor oferta efetiva de sondas tem-se uma conseqüente redução do limite de contratação de sondas, e menos sondas poderão entrar em operação a cada instante. A quantidade de sondas em operação, então, será menor, reduzindo a utilização da oferta efetiva de sondas. Finalmente, a redução da utilização da oferta efetiva de sondas provoca a queda da diária de sondas, conforme visto anteriormente. Pode-se concluir que essa estrutura também age no sentido de reduzir o valor da diária de sonda após seu aumento.

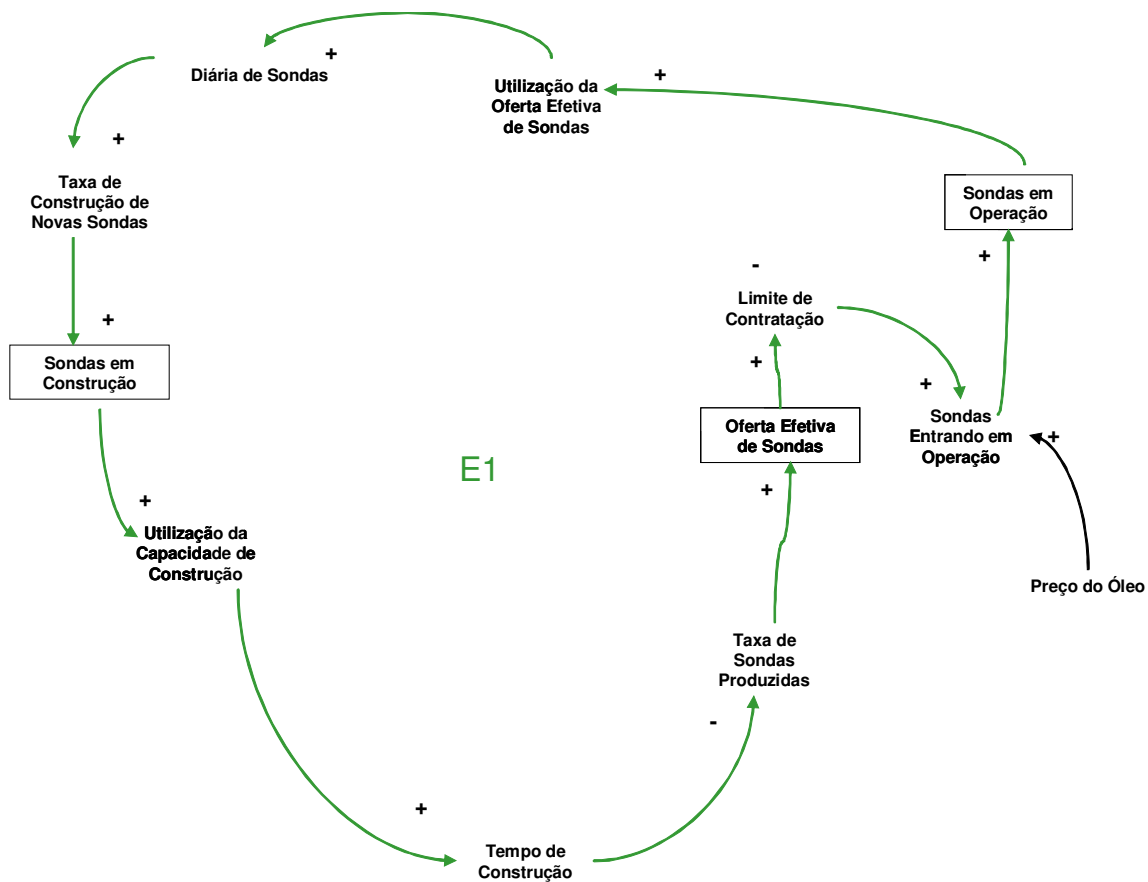


Figura 6 - Primeiro Feedback de Equilíbrio

O segundo *feedback* de equilíbrio é exibido na Figura 7. Essa estrutura envolve a *Diária de Sondas* da seguinte maneira: sempre que houver um aumento nas diárias, haverá estímulo para que as sondas sejam operadas por mais tempo que o normal – aumentando assim sua utilização, ou seja: reduz-se o descarte, o que contribui para o aumento ou manutenção da *Oferta Efetiva de Sondas*. Uma maior oferta efetiva de sondas significa uma possível redução da utilização percentual da oferta. A menor utilização da oferta força a redução da

diária, já que esta é regida justamente pelo desequilíbrio entre oferta e demanda. Pode-se concluir que quando a diária de sondas aumenta, o sistema reage depois de algum tempo provocando sua redução.

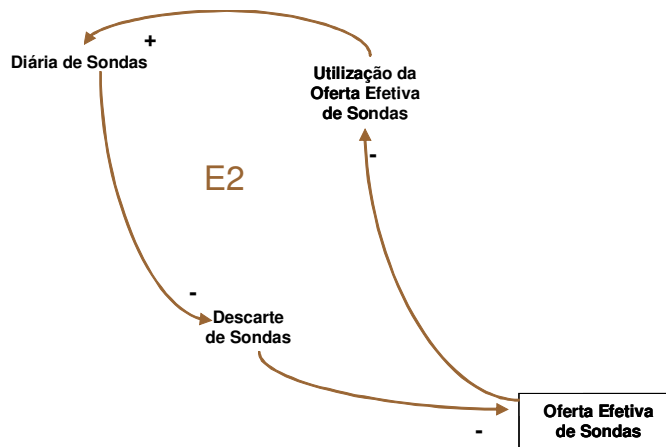


Figura 7 - Segundo Feedback de Equilíbrio

O terceiro *feedback* de equilíbrio pode ser visto na Figura 8. A partir daí, observa-se que um aumento no número de sondas em operação significa uma maior utilização percentual da oferta efetiva de sondas num determinado instante. Com uma maior utilização da oferta efetiva de sondas, o número de sondas disponíveis para contratação fica reduzido. Assim, há um limite no número de sondas que podem entrar em operação, reduzindo a quantidade de sondas que poderiam entrar em operação.

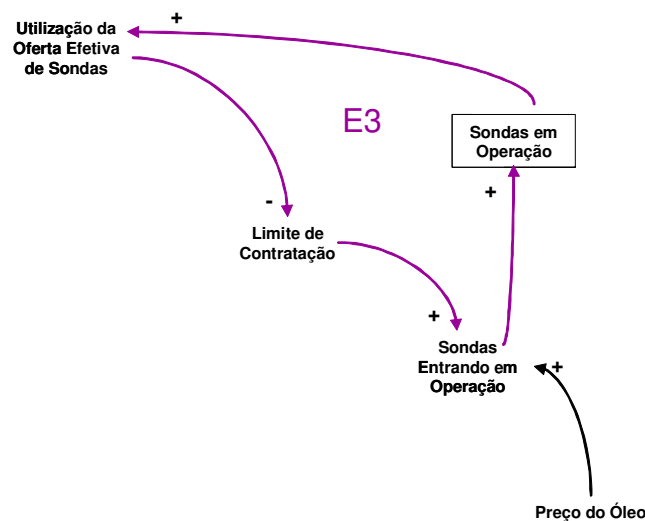


Figura 8 - Terceiro Feedback de Equilíbrio

A Figura 9 apresenta o quarto *loop* de equilíbrio. Neste *loop* quando a *capacidade de construção* é reduzida, incorre-se num aumento da utilização percentual da capacidade de construção. Esse aumento estimula a aquisição de mais capacidade, ocasionando o aumento da própria capacidade. Então, sempre que a capacidade de construção for reduzida, o

sistema reage provocando seu aumento momentos depois.

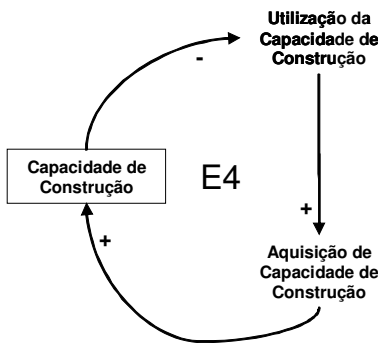


Figura 9 - Quarto Feedback de Equilíbrio

5.2.5 Diagrama de Fluxos e Estoques

O Diagrama de Fluxos e Estoques foi desenvolvido no *software IThink*, de propriedade da *isee systems*³. Apesar de não ser uma ferramenta de distribuição livre, a empresa oferece ao público o *isee player*⁴, que é gratuito e permite a leitura e simulação de qualquer modelo construído no *IThink*. O *isee player* possibilita uma ampla divulgação do modelo, mesmo para aqueles que não possuem a licença do *IThink*.

Optou-se por não parametrizar o modelo, ou seja, desenvolveu-se apenas uma representação gráfica das variáveis representadas no Diagrama de Enlaces Causais classificadas como estoques, fluxos e conversores. Essa representação, por si só, amplia a compreensão a respeito do sistema e abre caminho para a atribuição de valores e equações de relacionamento num próximo trabalho. Aí será possível a validação do modelo através dos gráficos gerados a partir de testes e a elaboração de um simulador de voo gerencial com diversos controles.

A análise cuidadosa do Diagrama de Fluxos e Estoques - exibido na Figura 10 - evidenciará que este contém variáveis além das que aparecem no Diagrama de Enlaces Causais. Isso porque o Diagrama de Fluxos e Estoques, além da comunicação de um modelo mental, foi desenvolvido a fim de possibilitar a modelagem matemática do sistema no futuro. Para que este possa ser posteriormente parametrizado e simulado, criaram-se variáveis adicionais que não apareceram no Diagrama de Enlaces Causais para que este pudesse assumir a forma mais enxuta possível de comunicação do funcionamento do sistema. Cabe ressaltar que todos os estoques e fluxos estão presentes em ambos os diagramas. Apenas alguns

³ Página da empresa na internet - <http://www.iseesystems.com/>

⁴ O *isee player* pode ser adquirido gratuitamente através do site <http://www.iseesystems.com/software/player/iseeplay.aspx>

conversores foram omitidos do Diagrama de Enlaces Causais.

As variáveis foram classificadas como estoques, fluxos ou conversores conforme a relação a seguir, em que as variáveis acrescentadas no Diagrama de Fluxos e Estoques foram grifadas e sua definição aparece em seguida:

5.2.5.1 Estoques

As seguintes variáveis foram classificadas como estoques, por representarem valores de acumulações ao longo do tempo:

- Sondas em Operação
- Sondas em Manutenção
- Oferta Efetiva da Sondas
- Sondas em Construção
- Capacidade de Construção de Sondas

5.2.5.2 Fluxos

- Tornando Disponível
- Entrando em Operação
- Retirada para Manutenção
- Retornando à Operação
- Descarte de Sondas
- Taxa de Sondas Produzidas
- Taxa de Construção de Novas Sondas
- Descarte de Capacidade de Produção
- Aquisição de Capacidade de Produção

5.2.5.3 Conversores

- Utilização da Oferta Efetiva de Sondas
- Limite de Contratação
- Contratação Normal de Sondas

Trata-se do número de sondas contratadas a cada período nas condições-padrão do sistema, é um parâmetro do modelo.

- Efeito Sobre a Contratação de Sondas

Através dessa variável, definida graficamente, representa-se o quanto e de que forma as variações no *preço do óleo* afetam o número de sondas contratadas a cada período.

- Preço do Óleo
- Duração Normal dos Contratos

Outro parâmetro do modelo. Define a duração dos contratos através da média e desvio-padrão obtidos a partir de dados históricos.

- Taxa de Manutenção

- Oferta Total de Sondas

Essa variável-resposta do modelo é a soma da *oferta efetiva de sondas* e das *sondas em manutenção*, representando o total de sondas existentes no sistema. A análise de seu comportamento ao longo do tempo é interessante para estudos relativos à oferta de sondas.

- Vida Útil de Sondas

- Efeito Sobre o Descarte de Sondas

Através dessa variável, definida graficamente, representa-se o quanto e de que forma as variações na *diária de sondas* estimulam o uso prolongado das sondas, retardando o seu descarte.

- Tempo de Construção de Sondas

Essa variável representa a duração – em períodos – da construção de uma sonda. Assim, tem influência direta sobre a *Taxa de Sondas Produzidas*.

- Tempo Normal de Construção de Sondas

Trata-se da duração – em períodos – de construção de uma sonda, dado que não há saturação da capacidade de construção.

- Efeito Sobre o Tempo de Construção

Através dessa variável, definida graficamente, representa-se o quanto e de que forma as variações na *utilização da capacidade de construção* tornam mais demorada a construção de novas sondas.

- Efeito Sobre a Decisão de Construção

Através dessa variável, definida graficamente, representa-se o quanto e de que forma as variações na *diária de sondas* estimulam a construção, a fim de aumentar a oferta total do sistema.

- Taxa Normal de Reposição de Sondas

Mais um parâmetro do modelo. Define o número de sondas que começam a ser construídas a cada período, a fim de repor aquelas que são descartadas.

- Efeito Sobre a Aquisição de Capacidade de Construção

Através dessa variável, definida graficamente, representa-se o quanto e de que forma as variações na *diária de sondas* estimulam a construção, a fim de aumentar a oferta total do sistema.

- Aquisição Normal de Capacidade de Construção

Outro parâmetro do modelo. Define quanta capacidade de construção é adquirida por período a fim de repor o descarte de capacidade por conta de depreciação e obsolescência das instalações.

- Utilização da Capacidade de Construção

- Diária Normal de Sondas

Trata-se do valor definido como padrão para a *diária de sondas*, é um parâmetro do modelo.

- Efeito Sobre a Diária de Sondas

Através dessa variável, definida graficamente, representa-se o quanto e de que forma as variações na *utilização da oferta de sondas* influenciam o valor final da *diária de sondas*.

- Diária de Sondas

5.3 Análise do Modelo

Apesar de o modelo não ter sido parametrizado, impossibilitando testes a partir de simulação, pode-se afirmar que ele é compatível com o comportamento histórico da variável em estudo – *Diária de Sondas* - previamente apresentado no Gráfico 3. Isso porque as estruturas de *feedback* encontradas em sua versão final – dois *loops* de reforço e dois de equilíbrio passando pela variável – sugerem comportamento oscilatório para a variável.

A variável de entrada *Preço do Óleo*, apesar de não sofrer nenhuma influência do sistema, é de grande importância para o seu comportamento. Isso porque o *Preço do Óleo* é a variável que explica as alterações no número de sondas *Entrando em Operação*, que por sua vez é o fluxo que alimenta o estoque de *Sondas em Operação*. Assim, o *Preço do Óleo* tem influência fundamental no setor *Contratação de Sondas*, que representa fundamentalmente a demanda nesse sistema. Provavelmente é o comportamento histórico do *Preço do Óleo* - que tem uma tendência crescente – que causa a tendência histórica ao crescimento também na *Diária de Sondas*, variável central desse estudo, explicando porque seu comportamento oscilatório é também crescente. Isso poderá ser comprovado a partir de simulações do modelo em estudos futuros, testando-se a reação da variável *Diária de Sondas* a diferentes curvas de *Preço do Óleo*.

O tipo de comportamento sugerido pelos *feedbacks* encontrados no modelo e confirmados pelas curvas históricas de *Diárias de Sonda* explica a preocupação dos empresários do setor com relação à produção excessiva de sondas. Afinal, a produção estimulada pela alta de preços é a mesma que posteriormente provoca a queda brusca desses mesmos preços. O estudo cuidadoso dos relacionamentos existentes no modelo de Dinâmica de Sistemas desenvolvido para representar o comportamento da *Diária de Sondas* pode servir como ferramenta para a criação de políticas de construção de sondas, e para maior organização dos empresários do setor. Assim, seria possível evitar crises ocasionadas por oferta excessiva e conseqüente queda brusca de preços.

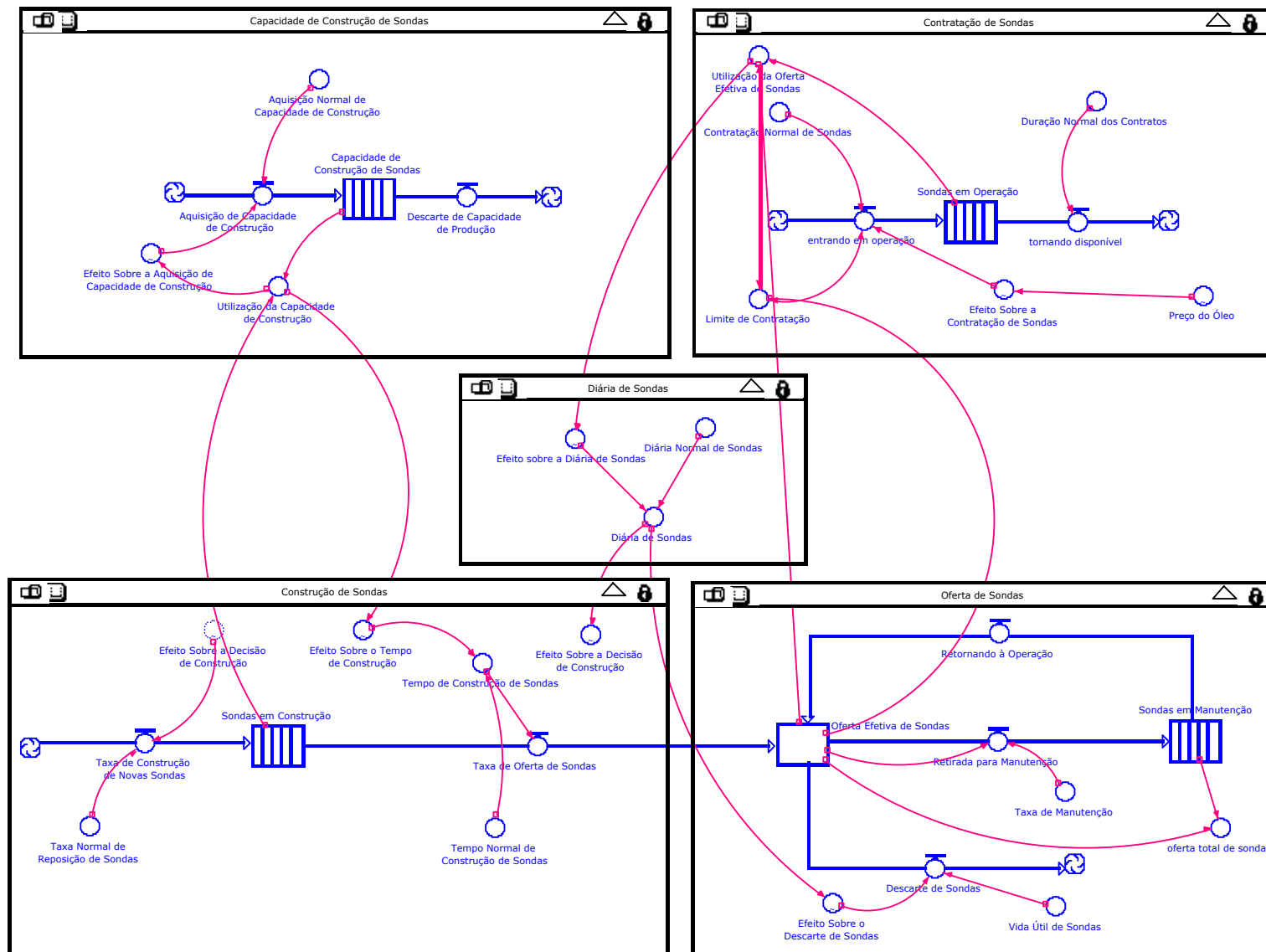


Figura 10 - Diagrama de Fluxos e Estoques

6 Conclusão

O principal objetivo da modelagem desenvolvida ao longo do trabalho foi compreender os fatores que influenciam os valores de tarifas diárias de sondas, através dos conceitos e ferramentas da Dinâmica de Sistemas. Trata-se de um estudo relevante para a indústria de óleo e gás, já que as diárias de sondas de perfuração representam grande parte dos investimentos de exploração.

Apesar de o modelo ainda não ter sido calibrado para rodar simulações, pode-se dizer que ele é compatível com o comportamento histórico da variável em estudo, previamente apresentado no Gráfico 3. Isso porque a comparação da estrutura do modelo com estruturas de *feedback* similares – dois *loops* de reforço e dois de equilíbrio passando pela variável de interesse – sugere um comportamento oscilatório crescente para a variável em questão, no caso a *Diária de Sondas*.

O próximo passo da modelagem será a parametrização do modelo e o desenvolvimento de um simulador, que permitirá rodar simulações para apoiar à tomada de decisão estratégica no setor, tanto para a definição de políticas de empresas fornecedoras de sondas quanto para as empresas contratantes.

7 Referências Bibliográficas

- ANP, *Anuário Estatístico 2005*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_2005.asp>. Acessado em: 12 set. 2006.
- BAKER HUGHES INCORPORATED, *Worldwide Rig Count*. Disponível em: <<http://www.bakerhughes.com/investor/rig/index.htm>>. Acessado em: 12 set. 2006.
- BRITISH PETROLEUM, *BP Statistical Review of World Energy*. Disponível em: <<http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=91&contentId=7017990>>. Acessado em: 12 set. 2006.
- FERNANDES, A. C., *Scorecard Dinâmico – Em Direção à Integração da Dinâmica de Sistemas com o Balanced Scorecard*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- ODS-PETRODATA, *Offshore Rig Monthly*. Houston, E.U.A., mar. 2006.
- POWERSIM. *Powersim Studio 2003 Reference Manual*. 2003. Disponível em: <<http://www.powersim.com/download/manuals.asp>>. Acessado em: 12 set. 2006.
- RADZICKI, M.J., *Introduction to System Dynamics*. U.S. Department of Energy, 1997. Disponível em: <<http://www.albany.edu/cpr/sds/DL-IntroSysDyn/index.html>>. Acessado em: 12 set. 2006.
- RS-PLATOU OFFSHORE, *Rig Market Status Report November*. Disponível em <http://www.platou.com/portal/page?_pageid=133,187035&_dad=portal&_schema=PORTAL>. Acessado em: 12 set. 2006.
- THOMAS, J.E., *Fundamentos da Engenharia do Petróleo*. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2001;