

## **Uma Abordagem Estocástica Para Estimativa De Manutenções De Poços Offshore**

Yuri A. C. L. Mourão, Isis D. Lins, Márcio J. C. Moura

Centro de Estudos e Ensaio em Risco e Modelagem Ambiental/Departamento de Engenharia de Produção/Universidade Federal de Pernambuco

Camila L. Callegari

Programa de Planejamento Energético/ Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia/Universidade Federal do Rio de Janeiro

David E. A. Martins

Qualificação e Confiabilidade de Poços e Sondagem/Petróleo Brasileiro S.A.

Enrique A. L. Droguett

Departamento de Engenharia Mecânica/Universidade do Chile

### **1 INTRODUÇÃO**

O adequado planejamento dos recursos para manutenção (workover) da produção de um campo de petróleo é um dos fatores impactantes no VPL (Valor Presente Líquido) do projeto. A estimativa das manutenções é relevante para a provisão de gastos operacionais e serve de referência para a contratação de sondas, barcos, equipamentos e materiais. Além disso, nos últimos anos o número de campos maduros vem aumentando, com isso a necessidade de se estimar a quantidade de workovers se torna um desafio.

A engenharia da confiabilidade auxilia no adequado planejamento das paradas de manutenção, reduzindo assim os custos [1]. A mecanização e automação vêm reduzindo a mão de obra na operação e aumentando a demanda por estudos de confiabilidade. A gestão das manutenções é indispensável para proporcionar políticas de reparação e substituição de equipamentos em momentos estratégicos para que se possa fornecer alta produtividade e um alto nível de serviço.

A modelagem matemática do Sistema Poço é estocástica, essa técnica matemática permite melhor aproximar o modelo de estimativa à dinâmica real do sistema. Além disso, sofisticada o processo de tomada de decisão, aumentando a probabilidade de êxito dos projetos de desenvolvimento de campos de petróleo.

### **2 OBJETIVO DO TRABALHO**

O objetivo desse artigo é apresentar um método a fim de estimar as demandas de manutenção para subsidiar tomadas de decisões visando um melhor planejamento dos recursos e maximização da produção.

As estimativas consistentes do número de manutenções esperados, permite prever a demanda de bens e serviços, a longo e médio prazo, direcionar investimentos e auxiliar no planejamento e controle da produção e na melhor utilização de seus recursos. Com isso, pode-se obter uma maior assertividade e aderência entre o orçamento previsto e os valores realizados. Com melhores estratégias para as manutenções pode-se evitar paradas de produções desnecessárias, maximizar assim a produção e atendendo da melhor forma as demandas de mercado e margens do projeto.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Muitos dos trabalhos de estatísticos em confiabilidade foram focados em tempos de vida de equipamentos e sistemas [2]. A curva de confiabilidade de componentes pode ser obtida a partir de duas abordagens distintas: uma paramétrica e a outra, não paramétrica [3]. Em 1939, foi apresentada distribuições paramétricas aplicáveis aos modelos de tempo de vida, que foi chamada de distribuição Weibull [4]. A abordagem não paramétrica prescinde de distribuições de probabilidade para apresentar seus resultados e foi desenvolvida por Kaplan e Meier [5].

As aplicações dos conceitos de confiabilidade focados na área de engenharia de petróleo foram desenvolvidas mais atualmente de acordo com o avanço dos estudos nessa área. De acordo com [6], a distribuição Weibull é uma das mais robustas para modelar os tempos entre intervenções e de produção dos poços para análise de intervenções em campos de petróleo localizados na Bacia de Campos, Brasil.

Em 2003, [7] aplicou a distribuição Weibull e conceitos de confiabilidade e estatística para analisar o período de 12 anos de intervenções na Bacia de Campos, Brasil. A finalidade do estudo foi de identificar o motivo das intervenções, modelar as falhas e analisar os dados de falha.

Em 2008, [8] aplicou conceitos de confiabilidade e estatística, também utilizando a distribuição Weibull, para analisar dados de equipamentos de sub-superfície de poços de petróleo da Petrobras, nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, Brasil.

Existem poucas pesquisas relacionadas com análise de dados de vida de poços de petróleo considerando-o como um único sistema. A maioria dos estudos foram aplicados para análise de equipamentos individuais dos poços de petróleo.

#### 4 DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

Devido à falta de dados dos equipamentos individuais do poço, considera-se o poço como um único sistema, denominado Sistema Poço. Sendo assim, os dados de entrada de interesse são as paradas de produção de cada poço com suas durações.

A confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um sistema, equipamento ou objeto executar suas funções adequadamente por um período específico de tempo, sob de certas condições operacionais. Ela também pode ser associada a operações bem sucedidas, com ausência de quebra ou falhas e com confiança no desempenho [7].

De acordo com [8] a variável de interesse no estudo de confiabilidade, tempo de sobrevivência ou até a falha, é uma variável contínua e positiva. A principal característica de um conjunto de dados de confiabilidade é a presença de dois componentes: falhas e censuras, os quais constituem respostas:

- Falhas (F) – estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo tal incapacidade durante a manutenção preventiva ou outras ações planejadas, ou pela falta de recursos externos.
- Censuras (S) – estado de um item em que se restringe a habilidade de se observar o tempo até a falha de maneira exata.

De acordo com [9], a distribuição Weibull é uma das mais usadas como distribuição de dados de vida na engenharia de confiabilidade. A função de densidade de probabilidade, *pdf*, da Weibull de 2-parâmetros é dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (1)$$

em que  $\eta$  é o parâmetro de escala e  $\beta$  é o parâmetro de forma [9].

Os objetivos principais a partir da obtenção dos dados são de modelar as falhas e analisar os dados de vida. Os conceitos utilizados permitem estimar os parâmetros da distribuição estatística que representa o sistema e também estima o comportamento futuro da vida dos poços de um determinado campo de petróleo.

Desse modo, com a previsão do comportamento da vida de cada poço, podemos estimar as manutenções, e consequentemente, todos os recursos envolvidos e maximizar a produção.

A proposta para o método de previsão de manutenção em poços de petróleo, considerando o Sistema Poço, segue as seguintes etapas:

- Elaboração de premissas e critérios;
- Coleta e análise exploratória dos dados históricos;
- Ajuste da distribuição de probabilidade aos tempos entre falhas do sistema poço;
- Cálculo do número esperado de *workovers* em um determinado tempo;
- Análise dos resultados.

A definição das premissas e critérios do estudo é de grande importância, pois delimitarão o escopo da análise.

A segunda etapa consiste na coleta de dados da variável sistema poço, que é dada pelas observações de parada de produção de cada poço de petróleo do campo a ser estudado. O interesse está em analisar o tempo decorrido até uma falha ou censura no sistema poço. Com a Tabela 1, observa-se que o Poço 1 produziu 60 meses até falhar (intervenção de *workover*) e voltou a produzir por mais 36 meses até a data da observação, ou

seja, o dado é censurado (S). O Poço 2 produziu por 84 meses e não falhou. O Poço 3 falhou com 48 meses e não voltou mais a produzir até a data da observação.

Tabela 1: Exemplo de tabela F/S

Poço	Tempo em produção (meses)	Estado - F/S
Poço 1	60	F
Poço 1	36	S
Poço 2	84	S
Poço 3	48	F

A próxima etapa é o ajuste de distribuição de probabilidade aos tempos entre falha. Uma distribuição estatística é descrita por sua Função de Densidade de Probabilidade (pdf). A pdf e a Função de Distribuição Acumulada (cdf) são as duas funções estatísticas mais importantes em confiabilidade e estão relacionadas umas com as outras. Quando essas funções são conhecidas quase todas as medidas de confiabilidade podem ser obtidas ou derivadas.

Desse modo, levando em consideração que utilizaremos a distribuição Weibull, temos que os parâmetros da distribuição empírica são estimados pela maximização da função de verossimilhança. A ideia básica é obter o valor mais provável dos parâmetros  $\eta$  e  $\beta$ , que melhor representem os dados. De acordo com [9], considerando uma distribuição em que  $x$  é uma variável aleatória contínua com pdf e cdf:

$$f(x_i|\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

$$F(x_i|\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

Onde  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$  são os parâmetros desconhecidos que precisam ser estimados de  $N$  falhas observadas em  $T_1, T_2, \dots, T_N$  e  $M$  suspensões observadas em  $S_1, S_2, \dots, S_M$ , [10]. Então a função verossimilhança é dada por:

$$L(\theta_1, \dots, \theta_k | T_1, \dots, T_N, S_1, \dots, S_M) = \prod_{i=1}^N f(T_i; \theta_1, \dots, \theta_k) \cdot \prod_{j=1}^M [1 - F(S_j; \theta_1, \dots, \theta_k)] \quad (2)$$

A equação de probabilidade condicional em um determinado instante de tempo adicional  $t$ , dado que já se passou o tempo  $T$ , é dado por:

$$P(t|T) = 1 - \frac{e^{-\left(\frac{T+t}{\eta}\right)^\beta}}{e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta}} \quad (3)$$

Assim, obtemos a probabilidade condicional de falhas, do campo de petróleo em análise. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** demonstra com um exemplo:

Tabela 2 - Probabilidade Condicional de Falhas

Idade (meses)	108	60	84
	Poço 1	Poço 2	Poço 3
12	0,1142	0,1088	0,1112

24	0,1598	0,1594	0,1591
36	0,1985	0,2009	0,1991

Como podemos observar na tabela, a probabilidade do Poço 1 falhar daqui doze meses, dado que ele já está em operação por cento e oito meses, é 0,1142.

Então, para a obtenção do número esperado de falhas, utilizamos a simulação de Monte Carlo. Definimos o número de iterações desejado e geramos um número aleatório, seguindo uma distribuição Uniforme entre 0 e 1, para cada iteração. Então, em cada iteração, podemos verificar se houve falha a partir da probabilidade condicional de falha, no tempo de interesse da análise. Por exemplo, se o número aleatório gerado for menor que a probabilidade condicional de falha, temos que ocorreu a falha.

Por último, fazemos a contagem da variável de interesse em cada iteração e analisamos as medidas estatísticas de interesse.

## 5 RESULTADOS OBTIDOS

A aplicação do método foi realizada utilizando dados reais de um campo de petróleo da bacia de Campos, localizado no estado do Rio de Janeiro. Utilizamos somente os poços produtores.

Seguindo as etapas citadas anteriormente, temos:

### 5.1 Elaboração De Premissas E Critérios

Como premissas:

- Quaisquer tipos de manutenção feita antes do início da produção foram descartados;
- Paradas estratégicas de produção maiores de um mês são contabilizadas para redução na idade dos poços;
- Os dados de poços produtores são analisados separadamente dos poços injetores;
- Para campos com falta de dados serão utilizados dados de campos de correlação.

E como critérios:

- Para a escolha de campos de correlação serão levados em consideração os tipos de poços e a geologia do campo.

### 5.2 Coleta e Análise Exploratória Dos Dados Históricos

A coleta de dados é realizada já separando os dados de poços produtores e injetores, ou seja, fazendo essa coleta separadamente. Desse modo, temos os tempos em que os poços produtores ficaram em produção e suas paradas para manutenção, assim como, para os injetores temos os tempos em que ficaram injetando e suas paradas para manutenção.

Com a análise exploratória podemos tratar todos os dados eliminando possíveis *outliers* e de acordo com as premissas e critérios. A Tabela 3 mostra os tempos encontrados para os poços produtores:

Tabela 3: Dados Poços Produtores

Poço	Estado	Tempo (meses)	Poço	Estado	Tempo (meses)
Poço 1	F	51,7	Poço 23	S	3,8
Poço 1	F	43,7	Poço 24	S	87,9
Poço 2	F	9,4	Poço 25	S	74,2
Poço 2	F	27,9	Poço 26	F	32,9
Poço 2	S	77,4	Poço 26	S	0,1

Poço 3	F	57,4
Poço 3	S	76,4
Poço 4	F	5,0
Poço 4	F	14,3
Poço 4	F	64,8
Poço 4	F	31,4
Poço 5	F	4,5
Poço 5	F	88,5
Poço 5	S	12,3
Poço 6	F	4,0
Poço 6	F	83,4
Poço 6	S	46,5
Poço 7	F	38,5
Poço 7	F	28,1
Poço 8	F	2,2
Poço 8	F	46,3
Poço 8	S	28,8
Poço 9	F	10,1
Poço 10	F	50,1
Poço 10	F	6,9
Poço 10	F	22,9
Poço 10	F	1,8
Poço 11	F	126,9
Poço 12	F	65,7
Poço 13	S	85,0
Poço 14	F	64,3
Poço 15	S	87,9
Poço 16	S	88,6

Poço 27	F	40,3
Poço 28	F	41,6
Poço 29	S	78,2
Poço 30	S	80,7
Poço 31	S	5,8
Poço 32	F	48,2
Poço 33	F	23,9
Poço 34	S	5,7
Poço 34	F	0,1
Poço 35	S	5,8
Poço 36	S	32,9
Poço 37	S	9,0
Poço 38	S	19,4
Poço 39	S	0,0
Poço 40	S	5,1
Poço 41	S	11,5
Poço 42	S	34,4
Poço 43	S	9,9
Poço 44	S	11,7
Poço 45	S	24,3
Poço 46	F	2,2
Poço 47	S	6,5
Poço 48	S	8,5
Poço 49	F	3,9
Poço 49	S	2,7
Poço 50	S	27,6
Poço 51	S	8,3
Poço 52	F	3,5

Poço 17	S	82,6
Poço 18	S	93,8
Poço 19	F	48,5
Poço 20	F	92,8
Poço 20	S	0,1
Poço 21	S	82,0
Poço 22	S	84,3
Poço 23	F	42,5

Poço 53	S	8,9
Poço 54	S	18,6
Poço 55	S	15,5
Poço 56	F	1,4
Poço 56	S	2,6
Poço 57	S	4,9
Poço 58	F	3,1
Poço 59	S	3,2

### 5.3 Ajuste Da Distribuição De Probabilidade Aos Tempos Entre Falhas Do Sistema Poço

Para ajustarmos uma distribuição de probabilidade aos dados e com isso seus parâmetros, estimamos pela maximização da função verossimilhança. Como assumimos que os dados seguem uma distribuição Weibull de dois parâmetros,  $\eta$  é o parâmetro de escala e  $\beta$  é o parâmetro de forma.

Aplicando a Eq. (2) aos dados, temos que  $\eta = 88,29927$  e  $\beta = 0,8605$ .

As Figuras 1 e 2 abaixo mostram os gráficos da *pdf* e *cdf*, respectivamente.

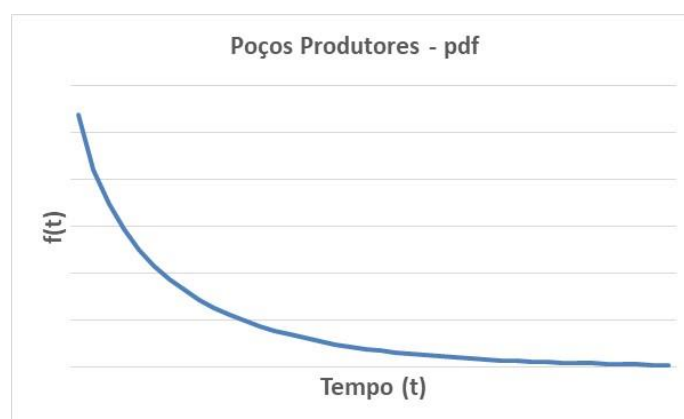


Figura 1: Gráfico da *pdf* dos poços produtores.

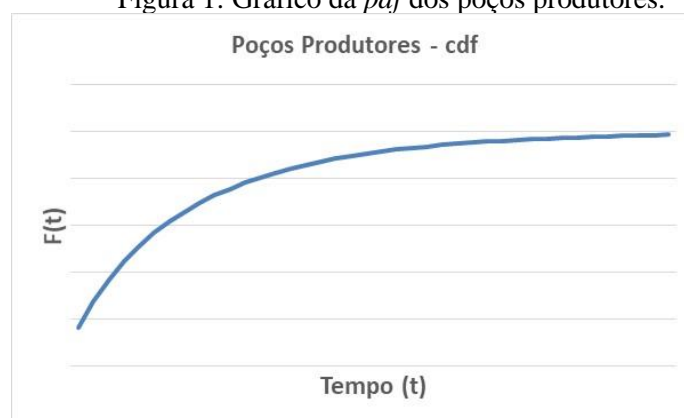


Figura 2: Gráfico da *cdf* dos poços produtores.

Com os parâmetros da distribuição de probabilidade que representa os dados conhecidos, podemos obter os resultados desejados.

#### 5.4 Cálculo Do Número Esperado De Workovers

O número esperado de *workovers* será estimado para cinco poços produtores que foram perfurados na última campanha. Para isso, consideramos que os poços têm as seguintes idades: Poço 1 tem três anos, Poços 2 e 3 têm dois anos e Poços 4 e 5 com 01 ano. E vamos considerar um horizonte de mais cinco anos.

Para o cálculo do número esperado de *workovers* devemos primeiro obter as probabilidades condicionais de falha. Utilizando a Eq. (3), temos as probabilidades condicionais mostradas na Tabela 4:

Tabela 4: Probabilidade Condicional de Falha

T (meses)	12	24	36	48	60
P(1 T)	13,62%	12,72%	12,17%	11,78%	11,47%
P(2 T)	24,61%	23,35%	22,51%	21,89%	21,40%
P(3 T)	33,79%	32,37%	31,40%	30,66%	30,06%
P(4 T)	41,59%	40,13%	39,10%	38,29%	37,63%
P(5 T)	48,29%	46,85%	45,80%	44,97%	44,29%

Com isso, assumimos que o número esperado de falhas, por exemplo, para o terceiro ano do horizonte de estudo é dado desde que nenhum poço falhou até o momento. Desse modo, fazemos o cruzamento entre as probabilidades condicionais e as idades dos poços, apresentados na Tabela 5:

Tabela 5: Probabilidade Condicional de Falha ao Longo do Tempo

	2018	2019	2020	2021	2022
P <sub>1</sub> (t 3)	12,17%	22,51%	31,40%	39,10%	45,80%
P <sub>2</sub> (t 2)	12,72%	23,35%	32,37%	40,13%	46,85%
P <sub>3</sub> (t 2)	12,72%	23,35%	32,37%	40,13%	46,85%
P <sub>4</sub> (t 1)	13,62%	24,61%	33,79%	41,59%	48,29%
P <sub>5</sub> (t 1)	13,62%	24,61%	33,79%	41,59%	48,29%

Por fim, utilizamos simulação de Monte Carlo para obter o número esperado de falhas. Foi definido 10.000 iterações para a simulação. Como medidas de interesse foram definidas: a média e os percentis 10, 75 e 95. Os resultados obtidos após a simulação são mostrados na Tabela 6:

Tabela 6: Resultados

	2018	2019	2020	2021	2022
P10	0	0	0	0	0
Média	1	2	2	3	3



P75	1	2	2	3	4
P95	2	3	3	4	4

### 5.5 Análise Dos Resultados

Observa-se na Tabela 6 que, para os 5 poços da campanha considerando um horizonte de 5 anos, temos uma média de 1 falha no primeiro ano (2018) e de 3 falhas no quinto ano (2022), dado que o poço ainda não tenha falhado. Para os demais cenários, representados pelos percentis 10, 75 e 95, cenário otimista, conservador e avesso ao risco, respectivamente, as estimativas de demanda de *workover* variam.

No cenário mais otimista (P10) a estimativa é de nenhuma falha a cada ano. No cenário P75, a previsão é de 1 falha no primeiro ano até 4 falhas no quinto ano, dado que o poço não tenha falhado e no cenário mais conservador (P95) é considerado 2 falhas no primeiro ano até 4 falhas no quinto.

Baseado nessas informações estruturadas de estimativas de demanda por *workover*, os tomadores de decisão podem elaborar planos estratégicos para a produção, considerando níveis de riscos e retornos esperados de cada cenário.

## 6 CONCLUSÕES

O objetivo deste artigo foi apresentar um método de estimativa das demandas de manutenção para subsidiar tomadas de decisão visando a um melhor planejamento dos recursos e maximização da produção.

Para tanto, descreveu as etapas do método estocástico que aplicou para obter os resultados do estudo. Na seção Resultados foi calculada a estimativa de *workovers* para 5 poços de petróleo de um mesmo campo num horizonte de 5 anos. Foram considerados 4 cenários, o mais otimista representado pelo P10 e o mais conservador pelo P95. Observou-se que no mais otimista a estimativa era de nenhuma falha para os poços a cada ano. Nos cenários intermediários a estimativa é de 1 falha até 4 falhas a cada ano e no cenário mais avesso ao risco, de até 4 falhas. Dados os cenários e estimativas, cabe aos tomadores de decisão decidir o nível de risco que aceitam expor seus recursos e planejamento da produção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dekker, R. (1996). *Applications of maintenance optimization models: a review and analysis*. Reliability engineering & system safety.
- Lawless, J. F. (1983). *Statistical Methods in Reliability*. Technometrics.
- Weibull, W. (1939). *A Statistical Theory of the Strength of Materials*. IngeniorVetenskaps Akademien Handlingar N 151. Generalstabens Litografiska Anstalts, Furlag, Stockholm, Sweden.
- Kaplan, E. L. e Meier, P. (1958). *Nonparametric Estimation From Incomplete Observations*. J. Am. Stat. Assoc.
- Accioly, R. M. S., Martins, J. A. (1999). *Análise do Tempo entre as Intervenções e Duração das Intervenções com Sonda*. PETROBRAS.
- Frota, H. M. (2003). *Desenvolvimento de Método para Planejamento da Manutenção de Poços Petrolíferos em Águas Profundas*. Tese de Mestrado – UENF.
- Dantas, M. A. (2008). *Modelagem de Dados de Falhas de Equipamentos de Sub-Superfície em Poços de Petróleo da Bacia Potiguar*. Tese de Mestrado – UFRN.
- Accioly, R. M. S. (1995). *Análise da Duração do Tempo de Vida de Bombas Centrífugas Submersas*. Dissertação de Mestrado – UFRJ.
- ReliaSoft Corporation, (2014). *Life Data Analysis Reference*. Weibull ++. Tucson, Arizona, U.S.A.
- Muller, M. L. D., Dutang, C., (2015). *An R Package for Fitting Distributions*. Journal of Statistical Software.