

5. Modelagem do Problema

5.1. Introdução

A modelagem do problema consiste na aplicação de teorias de localização em um plano onde supõe-se a inexistência de restrições de percurso, de modo que se pode usar a distância mais curta, associada às condições dos reservatórios no que tange a queda de vazão ao longo do tempo. Neste caso a plataforma não possui restrição de capacidade e é interligada a poços satélites por linhas flexíveis chamadas de *risers* e *flowlines*.

Portanto, a superfície do fundo do mar será representada por um plano. As posições dos poços e as possíveis localizações das UEPs serão associadas às coordenadas deste plano, sendo as distâncias envolvendo estas coordenadas representadas pela métrica euclidiana. Assim pode-se aplicar algoritmos para a determinação das menores distâncias na busca da melhor localização da UEP, tendo como premissa posições pré-definidas para os poços.

Devido às mudanças nas características dos reservatórios ao longo do tempo, tem-se uma distribuição de vazão decrescente para estes poços. As distâncias entre as possíveis localizações das UEPs e os poços estarão associadas aos comprimentos das linhas flexíveis.

As possíveis posições para a instalação da UEP são classificadas segundo o critério de maximização do Valor Presente Líquido da Receita (VPLR), onde a lucratividade do candidato à localização é obtida envolvendo as receitas provenientes das vazões calculadas para os poços.

Devido ao fato de cada poço ter características distintas e relevantes quando comparadas aos demais poços, são atribuídos pesos aos mesmos com o objetivo de diferenciá-los, privilegiando a localização da UEP. Estes pesos são obtidos avaliando a participação do VPLR de cada poço no somatório do VPLR de todos os poços, ou seja, o VPLR total.

Resumidamente, a modelagem do problema é composta por quatro etapas principais, a saber: (i) representação da superfície do fundo do mar em um plano; (ii) geração das coordenadas iniciais de localização; (iii) cálculo das vazões de óleo ao longo do tempo e (iv) cálculo do VPLR associado a cada poço.

5.2. Representação da Superfície do Mar em um Plano

O estudo do relevo submarino através de dados batimétricos define as melhores posições para a localização dos pontos iniciais do problema, ou seja, os poços. As demais posições irão apontar as possíveis localizações da UEP. As linhas flexíveis são caracterizadas pelas menores distâncias entre os poços e as possíveis localizações da UEP, sendo calculadas através da métrica euclidiana.

5.3. Determinação das Coordenadas dos Poços

As coordenadas dos poços são determinadas com base em um ponto inicialmente escolhido para representar o referencial zero. A estratégia utilizada poderá ser aplicada em qualquer sistema de coordenadas, pois, tendo como ponto de partida o mesmo referencial, as coordenadas serão representadas pelas distâncias em termos de abcissas e ordenadas, ou seja, (x_p, y_p) , acrescidas a este referencial. Conforme dito anteriormente, as coordenadas dos poços são dados de entrada do modelo e foram determinadas a partir de uma configuração bem próxima da realidade.

5.4. Cálculo das Vazões de Óleo ao Longo do Tempo

Sabe-se que, ao longo do tempo de produção de um campo, a vazão de óleo apresenta valores decrescentes. Teoricamente, pode-se pensar que o volume é decrescente e que a vazão se mantém estável até certos níveis determinados pelas características de operação dos poços. Porém, se esta afirmação fosse tida como verdadeira, seria necessário a adoção, neste trabalho, de modelos envolvendo

poços injetores de água ou outro processo de recuperação de energia. Contudo, como forma de simplificar o modelo, sem prejuízo à sua estrutura, é adotado um processo em que a vazão se mostra decrescente, não abordando aspectos ligados à recuperação da pressão dos poços. Portanto, para o cálculo da vazão é aplicada a seguinte relação:

$$Q(t) = Q_0 \cdot a \cdot \exp(-b), \text{ sendo:}$$

$Q(t)$ = vazão no instante de tempo t ;

Q_0 = vazão inicial;

a = constante;

b = taxa de declínio contínua ou nominal.

Na busca da localização em que a UEP será instalada, são consideradas as vazões médias anuais de óleo para cada um dos poços. De posse do valor inicial de vazão e tendo fixados os coeficientes “a” e “b” da equação acima, para cada ano novas vazões são calculadas, assegurando o perfil decrescente descrito no parágrafo anterior. A grande dúvida que surge ao se inferir valores iniciais de vazão é se os mesmos irão se comportar de acordo com os estudos e constatações provenientes dos testes feitos na etapa de pré-produção. Com base nesta questão, e visando tornar o processo menos determinístico, para o modelo proposto, é adotado no cálculo da vazão inicial, uma parcela de incerteza. Para isto são introduzidos valores mínimos e máximos de vazão e através de uma distribuição triangular, somado à aplicação de fatores de aleatoriedade, é calculado um novo valor para a vazão inicial. A partir desta nova vazão inicial, para os anos seguintes, o modelo propõe a queda exponencial da vazão como descrito na fórmula acima.

Então, com base nessas premissas são calculadas, para cada poço, as várias vazões ao longo dos anos que servirão de base no cálculo do Valor Presente Líquido da Receita (VPLR) de cada poço e, conseqüentemente, a possível localização da UEP.

5.5. Cálculo do VPLR Associado a Cada Posição da UEP

O Valor Presente Líquido (VPL) representa o valor presente das receitas e despesas operacionais somados aos custos de desenvolvimento do campo petrolífero. Na verdade trata-se de um parâmetro que pretende avaliar a viabilidade de produção de determinado campo, onde estão envolvidos os custos de perfuração dos poços, de construção da UEP e de instalação das linhas de produção, entre outros. Neste trabalho, o VPL é representado pelas receitas provenientes das vazões de óleo extraídas dos poços. Como as despesas ligadas aos custos das linhas de produção conectadas entre os poços e a UEP podem ser consideradas fixas, em função do comprimento das linhas, estas não são consideradas. Portanto, para efeitos deste estudo, é considerado como parâmetro de viabilidade o VPLR.

Conforme ROSA (2006), de forma genérica, o Valor Presente Líquido para uma UEP localizada num ponto k é representado pela expressão a seguir.

$$VP_k = \sum_{t=1}^T [(\bar{Q}_t \cdot 365 \cdot V_t \cdot (1-I) - (C_{MP} \cdot n_p + C_v \cdot \bar{Q}_t \cdot 365))] e^{-i \cdot t} - D_k$$

Onde:

k = possíveis posições da plataforma;

VP_k = valor presente de receitas menos despesas com a UEP posicionada no ponto k ;

\bar{Q}_t = média anual da vazão de óleo no ano t ;

V_t = preço de venda do barril de petróleo no ano t ;

I = percentual de impostos sobre a receita;

C_{MP} = custo anual de manutenção de poços produtores;

C_v = custo variável;

n_p = total de poços;

i = taxa de atratividade;

t = tempo em anos;

T = tempo total de produção do campo;

D_k = custo de desenvolvimento com a UEP posicionada no ponto k .

e D_k é descrito como:

$$D_k = C_{PC} \cdot n_p + \left[\sum_{j=1}^{n_p} d_{jk} + P_k \right] \cdot C_L + C_{UEP}$$

Onde:

k = possíveis posições da plataforma;

D_k = custo de desenvolvimento com a UEP posicionada no ponto k .

C_{PC} = custo de perfuração e completação de um poço produtor;

n_p = total de poços;

d_{jk} = distância do poço produtor localizado no ponto j ao ponto k , onde está a UEP;

P_k = profundidade do ponto k em relação ao nível do mar;

C_L = custo da linha de produção;

C_{UEP} = custo da plataforma.

O Quadro 1 mostra, de forma resumida, os passos descritos para a metodologia apresentada:

Quadro 1: Metodologia proposta para localizar UEPs

Passo	Descrição
1	Representação da superfície do mar em um plano;
2	Determinação das coordenadas referentes aos poços produtores;
3	Determinação das vazões médias iniciais e cálculo das vazões médias ao longo dos anos para cada poço;
4	Cálculo da receita de cada poço levando em consideração a vazão correspondente ao longo dos anos;
5	Cálculo do VPLR total;
6	Cálculo dos pesos relativos aos poços em função da receita, determinando sua importância na localização da UEP;
7	Aplicação do algoritmo descrito por Weber para a determinação da região mais adequada a localização da UEP;

5.6. Problema Exemplo

Para caracterizar o modelo aqui tratado é proposto um problema exemplo, tendo como cenário a localização de uma plataforma de produção de petróleo a ser instalada em um determinado campo petrolífero. As características do sistema de produção marítimo, seus poços produtores e a evolução das receitas são alguns dos fatores levados em consideração na formulação do problema.

Neste exemplo a superfície do mar é aproximada para o plano e nela são inseridos 10 poços produtores, satélites, formando a estrutura principal do problema exemplo. Abaixo o sistema de coordenadas e a localização dos poços.

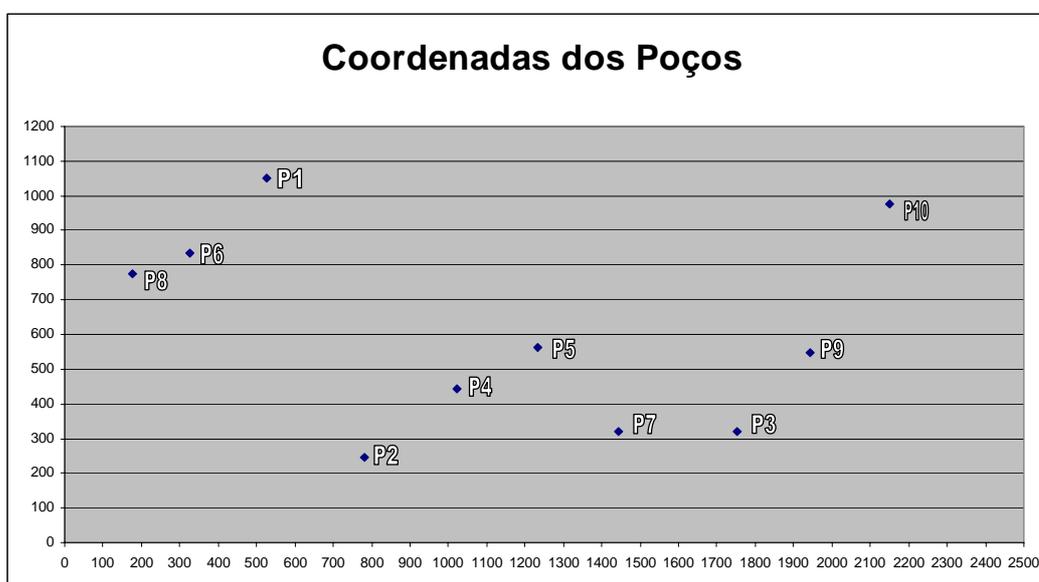


Figura 5: Localização dos poços

No problema exemplo, em função da superfície ser caracterizada por um plano, não são considerados obstáculos. Os poços encontram-se instalados a uma profundidade de 850 metros. Estudos feitos na Bacia de Campos comprovam que a variação de profundidade em plataformas localizadas em lâminas d'água de até 1200 m não é relevante e portanto desprezível para a análise deste problema. Com base neste dado, a profundidade é considerada constante para cada possível posição da plataforma e, conseqüentemente, para todos os poços previamente localizados.

Para a localização dos poços não foi adotado nenhum critério científico, porém a disposição dos mesmos obedece um critério estabelecido normalmente em campos de produção na Bacia de Campos: procurar manter os poços de forma que ocupem a maior extensão possível do campo. Neste exemplo são considerados 25 anos de produção para cada um dos dez poços.

Para o cálculo da vazão de declínio será utilizada uma fórmula já apresentada neste capítulo e representada pela expressão $Q(t) = Q_0 \cdot a \cdot \exp(-bt)$. Os coeficientes “a” e “b”, bem como a vazão inicial, foram arbitrados levando-se em consideração características reais de poços em operação na Bacia de Campos. O Quadro 2 mostra os coeficientes adotados para cada um dos dez poços considerados neste problema exemplo e suas respectivas vazões iniciais, Q_0 .

Quadro 2: Relação de coeficientes “a” e “b” e Q_0

	a	b	Q_0
Poço 1	1,000	- 0,030	1000
Poço 2	0,980	- 0,025	1500
Poço 3	0,950	- 0,025	900
Poço 4	0,800	- 0,025	2500
Poço 5	0,975	- 0,025	1750
Poço 6	0,960	- 0,025	1200
Poço 7	0,950	- 0,025	2200
Poço 8	0,970	- 0,025	3500
Poço 9	0,850	- 0,025	2000
Poço 10	0,900	- 0,025	1500

Cabe ressaltar que nestas vazões iniciais não estão considerados o percentual de incerteza e o fator randômico responsável pela correção dos valores na busca de aproximá-los à realidade.

Para o cálculo da nova vazão inicial foi adotado um fator randômico para cada poço com o objetivo de selecionar um valor de vazão aleatório dentro dos limites impostos pelo percentual de incerteza. Desta forma, para cada percentual

de incerteza, serão estabelecidos limites mínimos e máximos para as vazões Q_0 de cada poço. O Quadro 3 mostra, para uma incerteza de 5%, a faixa de valores iniciais de vazão.

Quadro 3: Faixa de valores mínimos e máximos de vazão – incerteza de 5%

	Qmin	Qo	Qmax
Poço 1	950	1000	1050
Poço 2	1425	1500	1575
Poço 3	855	900	945
Poço 4	2375	2500	2625
Poço 5	1663	1750	1838
Poço 6	1140	1200	1260
Poço 7	2090	2200	2310
Poço 8	3325	3500	3675
Poço 9	1900	2000	2100
Poço 10	1425	1500	1575

O cálculo do valor presente líquido da receita leva em consideração as receitas provenientes da venda do barril de petróleo, considerando uma taxa de juros de 10% ao longo dos 25 anos de produção dos poços. Os parâmetros ligados à receita estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4: Parâmetros da Receita

Preço de Venda do barril	50 US\$
Taxa de Juros	10% aa

Com a aplicação do fator randômico, pode-se realizar um número infinito de iterações de modo que se possa identificar com mais precisão o local de instalação da plataforma. Neste problema exemplo foram realizadas 100 iterações para cada poço, possivelmente 1000 fatores randômicos diferentes, tendo como resultado 100 pontos distintos para a localização da plataforma. Portanto, ao final, teremos uma nuvem de pontos formando a região de localização da plataforma.