

**Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP**

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

---

## **O VALOR DA INFORMAÇÃO DURANTE AS FASES DE AVALIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE CAMPOS DE PETRÓLEO**

Alexandre M. Xavier<sup>1</sup>, Eliana L. Liger<sup>2</sup>, Denis J. Schiozer<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas – Departamento de Engenharia de Petróleo  
Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP – Caixa Postal 6122 – Cep 13081-970  
Campinas – SP – Brasil – [xavier@dep.fem.unicamp.br](mailto:xavier@dep.fem.unicamp.br)

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Campinas – Departamento de Engenharia de Petróleo  
Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP – Caixa Postal 6122 – Cep 13081-970  
Campinas – SP – Brasil – [eliger@dep.fem.unicamp.br](mailto:eliger@dep.fem.unicamp.br)

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Campinas – Departamento de Engenharia de Petróleo  
Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP – Caixa Postal 6122 – Cep 13081-970  
Campinas – SP – Brasil – [denis@dep.fem.unicamp.br](mailto:denis@dep.fem.unicamp.br)

**Resumo** – A capacidade de lidar com incertezas é um importante instrumento para uma melhor definição da viabilidade econômica de campos de petróleo. Um critério econômico usado em processos de tomada de decisões é o Valor da Informação (VDI), que envolve a quantificação destas incertezas e avaliação econômica de diversos cenários de desenvolvimento. Embora haja certa dificuldade no cálculo do VDI, o mesmo representa uma importante ferramenta que pode ser usada como medida para reduzir o risco envolvido no desenvolvimento de campos de petróleo. A metodologia para a previsão de produção probabilística envolve a simulação de inúmeros modelos do reservatório obtidos através da combinação de atributos incertos. A análise de sensibilidade pode ser usada para selecionar os atributos críticos. Após a simulação dos modelos, um tratamento estatístico é usado para obtenção das curvas de risco de previsão de produção e de valor presente líquido. O VDI é calculado através dos resultados obtidos da metodologia de análise de risco. Uma comparação é feita entre o VDI e o Valor da Flexibilização (VDF) de cada cenário. As contribuições técnicas deste trabalho consistem em revisar os conceitos de VDI e VDF, mostrar as dificuldades de definição do VDI nas fases de avaliação e desenvolvimento e a importância deste conceito na tomada de decisão em projetos de petróleo e aplicar o conceito do VDI para reduzir incertezas e risco envolvidos no processo de decisão.

**Palavras-Chave:** Valor da Informação, Valor da Flexibilização, Análise de Risco, Quantificação de Incertezas, Simulação de Reservatórios de Petróleo.

**Abstract** – The capacity to deal with uncertainties is responsible for the economic viability of petroleum fields. The Value of Information (VOI) is an economic criterion used in decision-making process. It involves the quantification of uncertainties and the economic evaluation of various development scenarios. The expected monetary value of the field is calculated in order to reduce the uncertainties that have influence on economic assessment. Although there is a certain difficulty to define the VOI, it is an important tool that can be used as a measure to reduce the risk involved in petroleum field development. The methodology for probabilistic forecast prediction involves the simulation of several reservoir models obtained through the combination of uncertain attributes. Sensitivity analysis can be used to select the critical attributes. After simulation of the models, a statistic treatment is used to obtain the risk curve of the production forecast and net present value. The VOI is calculated through the results obtained from the risk analysis methodology. A comparison between VOI and Value of Flexibility (VOF) of each scenario is done. Technical contributions of this paper are revision of the value of information and flexibility concepts, to show the difficulty to define the VOI in appraisal and development phases and the importance of this concept in decision-making in field projects and to show a practical applicability of VOI to reduce the uncertainty and the risk involved in decision-making process.

**Keywords:** Value of Information, Value of Flexibility, Risk Analysis, Quantification of Uncertainty, Petroleum Reservoir Simulation.

## 1. Introdução

As fases de avaliação e desenvolvimento de um campo de petróleo estão associadas a um elevado número de incertezas com forte impacto nos resultados financeiros e altos investimentos de modo que o processo de tomada de decisão deve ser um procedimento probabilístico e não mais determinístico como realizado no passado. Procedimentos probabilísticos são comuns na fase exploratória, para a qual várias metodologias são bem definidas (Newendorp e Schuyler, 2000 e Rose, 2001). Na fase de desenvolvimento, a importância das incertezas sobre o fator de recuperação cresce significativamente, entretanto diferente da fase exploratória, metodologias probabilísticas não são bem definidas.

Uma metodologia para a quantificação do risco nas fases de avaliação e desenvolvimento foi proposta por Loschiavo *et al.* (2000) e implementada por Steagall e Schiozer (2001). Esta metodologia propõe uma análise de sensibilidade para reduzir o número de atributos incertos e a elaboração de uma árvore de derivação constituída pelos atributos críticos, sendo que cada ramo da árvore corresponde a um modelo de simulação. O emprego da simulação numérica de reservatórios na predição de produção é responsável pelo aumento de confiabilidade dos resultados. Esta metodologia apresenta desvantagens relacionadas ao elevado esforço computacional e tempo do processo. Contudo, algumas simplificações podem viabilizar esta metodologia, tais como: automação do processo e emprego de computação paralela (Ligero e Schiozer, 2002), tratamentos especiais aos atributos geológicos (Costa e Schiozer, 2003), tratamento da estratégia de produção (Santos e Schiozer, 2003) e modelos de simulações rápidos (Ligero *et al.*, 2003).

O risco envolvido na fase de desenvolvimento pode ser reduzido pela obtenção de informações adicionais que podem reduzir ou até mesmo remover determinada incerteza. Contudo, a aquisição de informações novas ou adicionais está diretamente associada a um custo. De acordo com Mian (2002), antes da decisão de aquisição de qualquer informação adicional as seguintes questões devem ser respondidas: (1) vale a pena obter a informação adicional e (2) havendo várias fontes potenciais de informação capazes de melhorar o processo de decisão, qual delas é preferida.

Uma ferramenta que pode ser usada como medida para reduzir o risco envolvido no desenvolvimento de campos de petróleo é o Valor de Informação (VDI). Uma informação pode ser completa e perfeita quando elimina toda a dúvida sobre um determinado atributo. Uma informação pode também ser imperfeita quando não há confiabilidade total no valor medido e pode ser incompleta se não for suficiente para reduzir totalmente a incerteza sobre o atributo. O valor de uma informação imperfeita é sempre menor que o valor de uma informação perfeita, que representa o máximo que a informação pode valer. Uma análise de valor de informação é essencialmente o cálculo da diferença do valor monetário esperado (VME) com e sem informação (Begg *et al.*, 2002; Demirmen, 2001 e 1996; Koninx, 2000). Se o valor de uma informação for inferior ao custo de sua aquisição, tal informação não deve ser obtida. Os cálculos de valor de informação são usualmente descritos por árvores de decisão, as quais fornecem transparência ao processo.

Uma análise similar ao valor de informação pode ser realizada com o objetivo de determinar o retorno esperado da flexibilização (VDF). A flexibilidade pode ser empregada para explorar a incerteza ou para diminuir o risco associado com a incerteza nos seguintes casos: quando a aquisição de informação para redução de incertezas não é possível, quando é mais barato que a aquisição de informações e para gerenciar incertezas residuais depois que a informação é obtida (Begg *et al.*, 2002). De modo análogo ao VDI, a flexibilização pode ser completa ou incompleta. A flexibilização completa corresponde à possibilidade de tornar o dimensionamento do sistema produtivo totalmente flexível, ou seja, após a definição do sistema, diversas alterações podem ser realizadas. Ao contrário da flexibilização completa, a flexibilização incompleta não possui esta versatilidade, apresentando algumas restrições operacionais, técnicas ou relacionadas à capacidade de armazenamento e tratamento de fluidos e segurança.

## 2. Objetivos e Aplicações

Este trabalho tem como principal objetivo mostrar e divulgar os conceitos de Valor de Informação (VDI) e de Valor de Flexibilização (VDF). Um exemplo de reservatório teórico é estudado de modo a possibilitar que os conceitos e cálculos relacionados ao VDI completa e perfeita e ao VDF completa sejam explicitados e bem entendidos. A obtenção do VDF completa somente é possível pelo fato do caso em consideração ser teórico. Além disso, o caso em estudo apresenta um único atributo incerto, pois a finalidade do exemplo é mostrar o conceito de VDI e VDF. O cálculo do VDI para casos com maior número de atributos incertos é apresentado por Xavier (2004), que também calcula o VDI incompleta. O cálculo do VDF incompleta consiste no próximo passo da linha de pesquisa de análise de risco.

A Figura 1 ilustra o modelo de reservatório teórico, retangular e homogêneo em suas propriedades de rocha (porosidade e permeabilidade). A presença de duas barreiras de permeabilidade é responsável pela existência de duas áreas incertas. Deste modo, a área é o único atributo incerto do reservatório, que impacta diretamente no volume de óleo originalmente *in situ* (VOOIS). Tais barreiras são responsáveis pela existência de três áreas distintas, as quais podem resultar em quatro modelos de reservatório: um otimista com 31x75x6 blocos, dois modelos médios idênticos com 31x53x6 blocos e um pessimista com 31x31x6 blocos. A probabilidade de ocorrência das áreas incertas foi considerada como sendo 25% para o modelo otimista, 25% para cada um dos dois modelos médios e 25% para o modelo pessimista.

Os dados econômicos necessários para o cálculo de VDI e VDF estão indicados na Tabela 1, a qual apresenta o investimento inicial para o caso estudado. O custo do sistema produtivo foi considerado como uma função linear do número de poços perfurados conforme ilustrado na Figura 2.

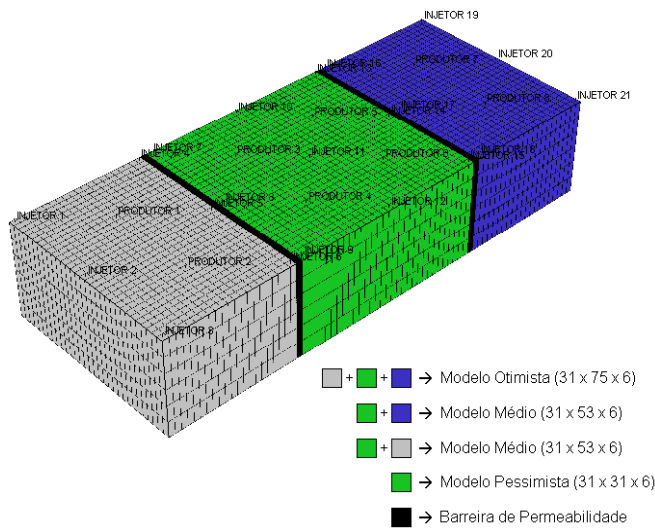


Figura 1. Modelo de reservatórios com incertezas.

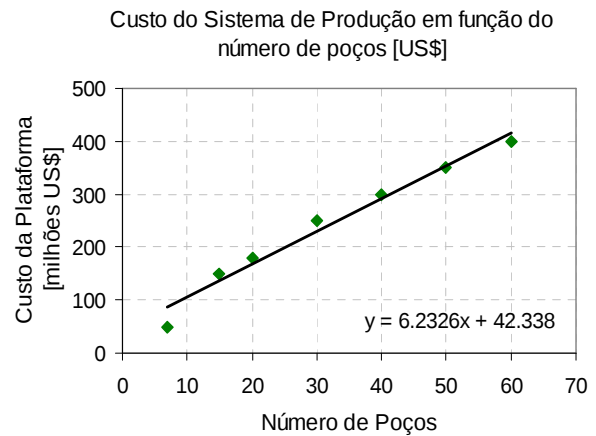


Figura 2. Custo do sistema produtivo em função do número de poços (Fonte: Revista Brasil Energia).

Tabela 1. Dados econômicos necessários para o cálculo de VDI e VDF

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| Taxa de juros             | 15 %                     |
| Imposto de renda          | 45 %                     |
| Investimento inicial      | 50 milhões de US\$       |
| Custo por poço vertical   | 12 milhões de US\$       |
| Preço do óleo             | 113 US\$/m <sup>3</sup>  |
| Custo de produção do óleo | 37,7 US\$/m <sup>3</sup> |
| Custo de produção da água | 12,6 US\$/m <sup>3</sup> |
| Custo de injeção de água  | 1,94 US\$/m <sup>3</sup> |

Para o caso em estudo que contém incerteza apenas no atributo área, três opções podem ser consideradas: (1) obter as informações (dois poços perfurados), independente do fato das mesmas serem positivas ou negativas, reduzindo a incerteza da variável área; (2) flexibilizar a estratégia e o sistema produtivo do projeto (tipo de plataforma, número de poços produtores e injetores, capacidade de produção de óleo e água e de injeção de água) para um caso em que o volume de óleo *in situ* seja otimista, médio ou pessimista e (3) não obter informação e não flexibilizar o sistema, sendo definida uma estratégia fixa de produção para os casos otimista, médio e pessimista.

A estratégia de produção de cada modelo foi admitida como sendo do tipo *five-spot* invertido. A Tabela 2 mostra as características da estratégia de produção para cada um dos possíveis modelos deste caso. As Figuras 3, 4 e 5 mostram as ramificações da árvore de decisão.

Tabela 2. Características dos modelos otimista, médio e pessimista.

|                                           | Modelo Pessimista | Modelo Provável | Modelo Otimista |
|-------------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Dimensões do modelo (blocos)              | 31 x 31 x 6       | 31 x 53 x 6     | 31 x 75 x 6     |
| VOOIS [milhões m <sup>3</sup> ]           | 144               | 246             | 349             |
| Nº de poços produtores                    | 4                 | 6               | 8               |
| Nº de poços injetores de água             | 9                 | 15              | 21              |
| Custo do sistema produtivo [milhões US\$] | 123               | 173             | 223             |



Figura 3. Ramificação da árvore de derivação – Com flexibilização

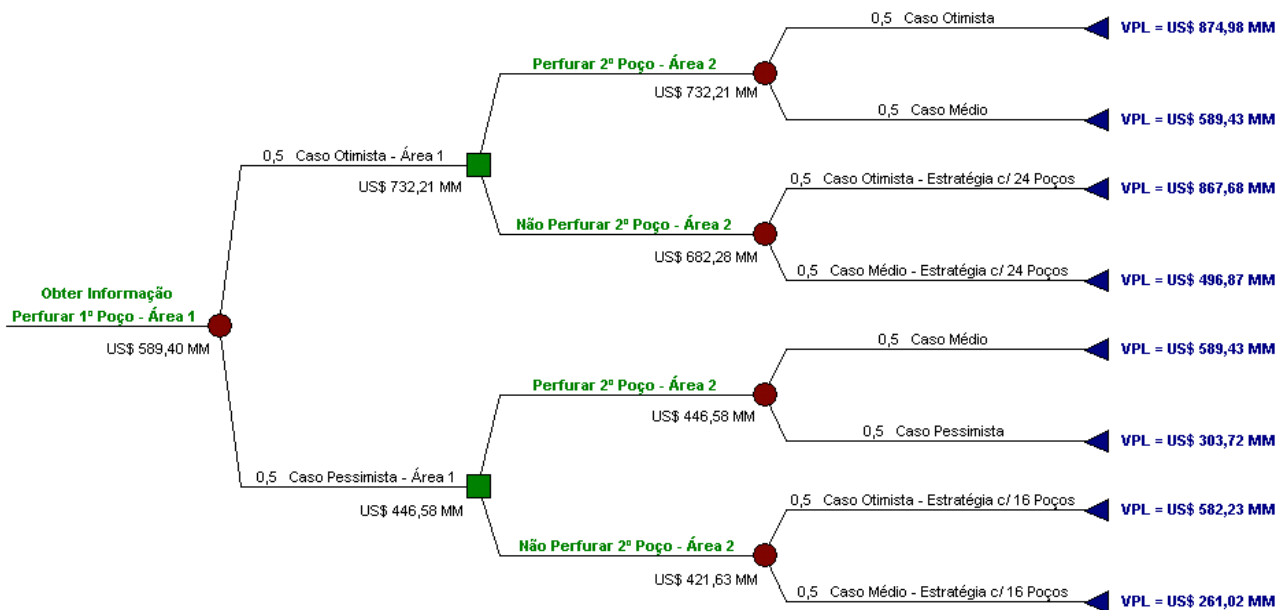


Figura 4. Ramificação da árvore de decisão – Com informação.

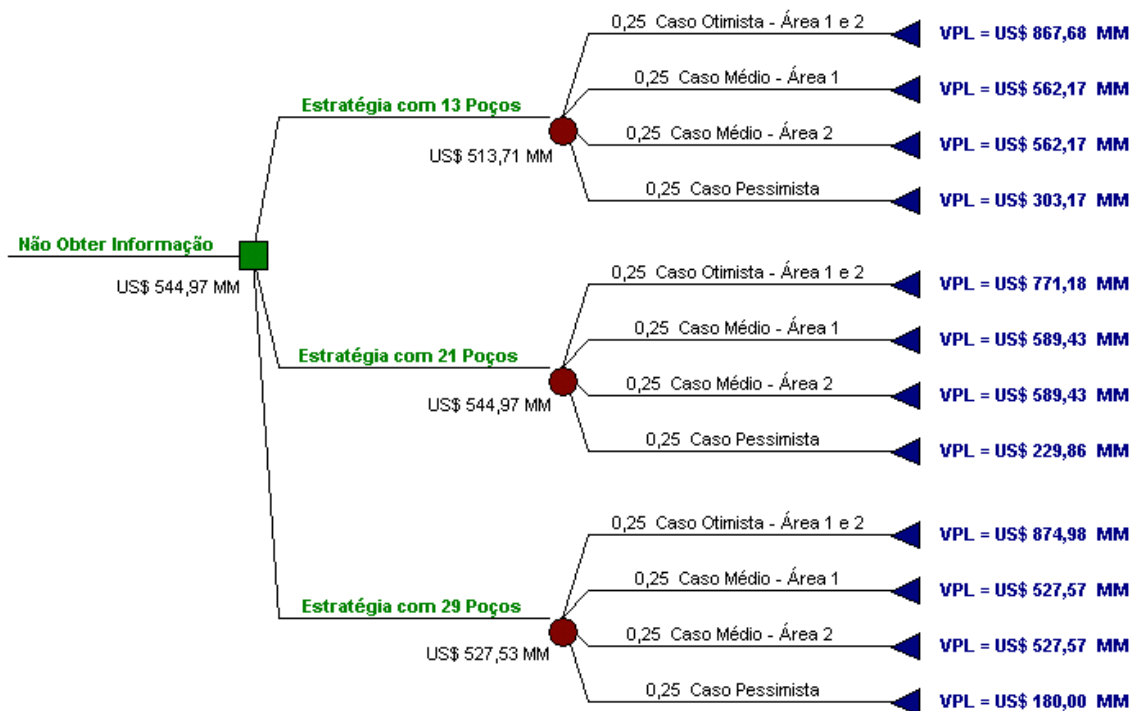


Figura 5. Ramificação da árvore de decisão – Sem informação.

### 3. Resultados

#### 3.1. Cálculo do Valor Monetário Esperado sem Informação - $VME_{SI}$

O valor monetário esperado sem informação ( $VME_{SI}$ ) corresponde ao máximo VME obtido para o reservatório com uma determinada estratégia fixa, a qual deve estar compreendida entre a estratégia de produção do modelo pessimista otimizado (13 poços), modelo médio otimizado (21 poços) e modelo otimista otimizado (29 poços). O fato de não se obter a informação e nem flexibilizar o sistema resulta numa estratégia única que independente do tamanho do reservatório:

$$VME_{SI} = 544,97 \text{ MMUS\$} \quad (1)$$

#### 3.2. Cálculo do Valor Monetário Esperado com Informação - $VME_{CI}$

O valor monetário esperado com informação ( $VME_{CI}$ ) corresponde aos VPL calculados nos casos otimista, médio e pessimista multiplicados por suas respectivas probabilidades de ocorrência:

$$VME_{CI} = VPL_{otimista} \cdot p + VPL_{pessimista} \cdot (1-p) + 2 \cdot VPL_{Médio} \cdot p \cdot (1-p) \quad (2)$$

$$VME_{CI} = 874,98 \cdot 0,25 + 303,72 \cdot 0,25 + 2 \cdot 589,43 \cdot 0,25 = 589,39 \text{ MMUS\$} \quad (3)$$

### 3.3. Cálculo do VDI e do VDF

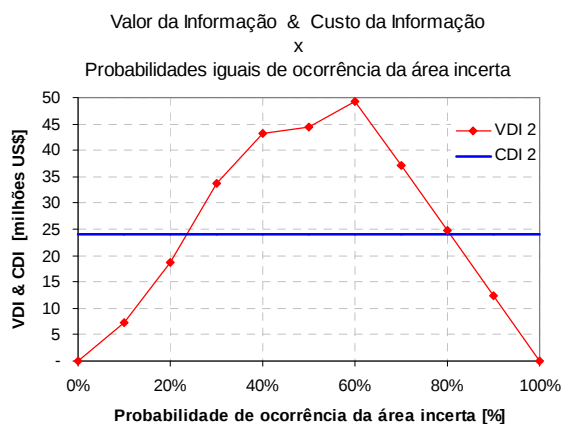
O valor da informação é obtido a partir da subtração do  $VME_{CI}$  e do  $VME_{SI}$ :

$$VDI = 589,39 - 544,97 = 44,42 \text{ MMUS\$} \quad (4)$$

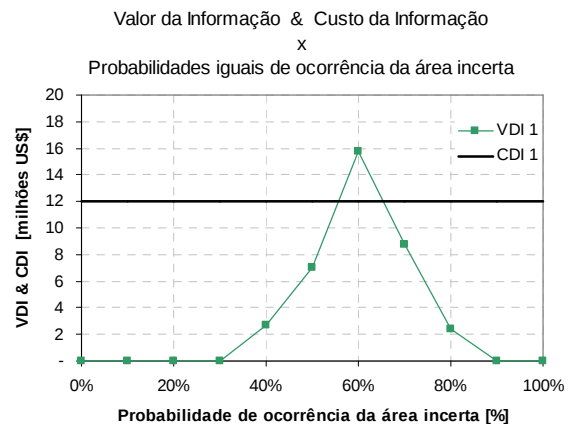
O valor da flexibilização é obtido da mesma maneira que o valor da informação:

$$VDF = 589,39 - 544,97 = 44,42 \text{ MMUS\$} \quad (5)$$

A Figura 6 mostra a comparação entre o VDI e o custo da informação (CDI) em função da probabilidade de ocorrência das áreas incertas considerando que as mesmas possuem probabilidades iguais. Pode-se observar que, para a obtenção de duas informações, Figura 6(a), para probabilidades menores que 24% e maiores que 80%, o valor da informação é menor ou igual ao seu custo, resultando na opção de rejeição da informação. Para valores compreendidos neste intervalo, a obtenção da informação seria a melhor opção, especialmente para valores próximos de 40% e 60% nos quais a informação alcança os maiores valores. Já para o caso da obtenção de uma informação apenas, Figura 6(b), o intervalo que o CDI é inferior ao VDI é significativamente menor comparado ao intervalo da Figura 6(a).



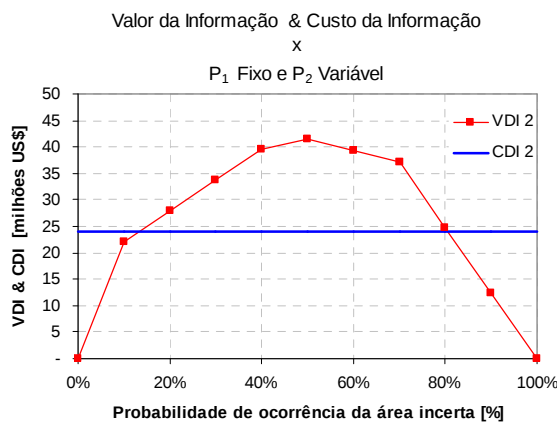
(a) Duas informações obtidas.



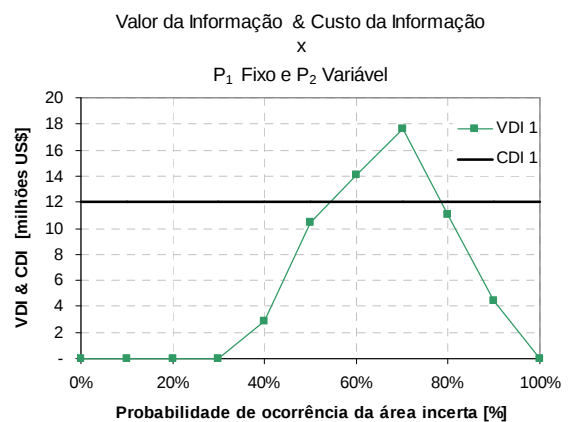
(b) Somente uma informação obtida.

Figura 6. Comparação entre o VDI e o CDI para probabilidades iguais de ocorrência das áreas incertas.

A Figura 7 mostra a variação do VDI em função da variação da probabilidade de ocorrência de uma das áreas incertas, considerando o valor da probabilidade de ocorrência da outra área incerta constante e igual a 30%. Observa-se que o valor da informação é muito sensível às probabilidades de ocorrência de cada área incerta, como mostra a Figura 7(a). Observa-se também que a obtenção da primeira informação, Figura 7(b), ou seja, a opção de perfurar o primeiro poço para a constatação da presença de óleo, mostra-se, na maioria dos casos, menor que o seu custo de obtenção.



(a) Duas informações obtidas.



(b) Somente uma informação obtida.

Figura 7. Comparação entre o VDI e o CDI para diferentes probabilidades de ocorrência das áreas incertas.

Este comportamento pode ser justificado pelo fato da concentração das probabilidades de ocorrência nos casos intermediários serem semelhantes e da variação do volume do modelo pessimista em relação ao otimista ter se mostrado

superior, mais que o dobro, de maneira que a incerteza em relação à área não é suficientemente diminuída ou eliminada com uma informação neste caso.

### 3. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi o de apresentar os conceitos de Valor da Informação (VDI) e de Valor da Flexibilização (VDF). Para isso, foi apresentado um exemplo teórico em que os efeitos das incertezas presentes no reservatório puderam ser anulados pela informação (informação completa e perfeita) ou pela flexibilização (flexibilização total). Os mesmos passos aplicados nesse exemplo teórico podem ser utilizados em casos reais, nos quais diversas incertezas estejam presentes, informações incompletas ou imperfeitas possam estar envolvidas e apenas a flexibilização parcial é possível.

### 4. Agradecimentos

Os autores agradecem a Finep (CTPETRO), CNPq, CNPq (PROSET), ANP e CEPETRO pelo suporte financeiro.

### 5. Referências

- BEGG, S, BRATVOLD, R, e CAMPBELL, J., 2002, "The Value of Flexibility in Managing Uncertainty in Oil and Gas Investments", SPE Annual Technical Conference & Exhibition, SPE 77586, Outubro, San Antonio, Texas, E.U.A.
- COSTA, A. P. A. e SCHIOZER, D. J., 2003, "Treatment of Geological Attributes in Risk Analysis Applied to the Appraisal Phase of Petroleum Fields", Canadian International Petroleum Conference, Junho, Calgary, Canadá.
- DEMIRMEN, F., 2001, "Subsurface Appraisal: The Road from Reservoir Uncertainty to Better Economics", SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium, SPE 68603, Abril, Dallas, E.U.A.
- DEMIRMEN, F., 1996, "Use of Value of Information Concept in Justification and Ranking of Subsurface Appraisal", SPE Annual Technical Conference & Exhibition, SPE 36631, Outubro, Denver, E.U.A.
- KONINX, J. P. M., 2000, "Value of Information from Cost-Cutting to Value-Creation", SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, SPE 64390, Outubro, Brisbane, Austrália.
- LIGERO, E. L., MASCHIO, C., SCHIOZER, D. J., 2003, "Quantifying the Impact of Grid Size, Upscaling, and Streamline in the Risk Analysis Applied to Petroleum Field", 17th Reservoir Simulation Symposium, SPE 79677, Fevereiro, Houston, E.U.A.
- LIGERO, E. L. e SCHIOZER, D. J., 2002, "Exploration and Production Risk Analysis - Automated Methodology and Parallel Computing to Speedup the Process", Second Meeting on Reservoir Simulation, Novembro, Buenos Aires, Argentina.
- LOSCHIAVO, R., STEAGAL D., e SCHIOZER D.J., 2000, "Estudo do Impacto de Incertezas no Desempenho de Reservatórios de Petróleo", 8th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences (ENCIT), Porto Alegre, Brasil.
- MIAN, M. A., 2002, "Project Economics and Decision Analysis – Volume II: Probabilistic Models", Penn Well Corporation, Tulsa, Oklahoma.
- NEWENDORP, P. e SCHUYLER, J., 2000, "Decision Analysis for Petroleum Exploration", Planning Press, Colorado, E.U.A.
- ROSE, P., 2001, "Risk Analysis and Management of Petroleum Exploration Ventures", AAPG Methods in Exploration Series, No 12, Tulsa, Oklahoma, E.U.A..
- SANTOS, J.A.M. e SCHIOZER, D.J., 2003, "Quantifying Production Strategy Impact in Risk Analysis of an E&P Project Using Reservoir Simulation", 17th Reservoir Simulation Symposium, SPE 79679, Fevereiro, Houston, E.U.A.
- STEAGALL, D.E. e SCHIOZER, D.J., 2001, "Uncertainty Analysis in Reservoir Production Forecast during the Appraisal and Pilot Production Phases", SPE Reservoir Simulation Symposium, SPE 66399, Fevereiro, Dallas, E.U.A.
- XAVIER, A.M., 2004, "Análise do Valor da Informação na Avaliação e Desenvolvimento de Campos de Petróleo", Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo, Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências, UNICAMP.