



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

TRATAMENTO DE ATRIBUTOS NA ANÁLISE DE RISCO EM CAMPOS DE PETRÓLEO NA FASE DE DESENVOLVIMENTO

Costa¹, A.P.A., Schiozer², D. J.

Departamento de Engenharia de Petróleo-Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP
Caixa Postal 6122- CEP: 13083-970 – Campinas – SP - Brasil
¹paula@dep.fem.unicamp.br, ²denis@dep.fem.unicamp.br

Resumo – O objetivo deste trabalho é apresentar alguns detalhes de uma análise de risco aplicada a um campo de petróleo na fase de desenvolvimento, com ênfase no tratamento de incertezas geológicas. Análise de decisão aplicada a planos de desenvolvimento em campos de petróleo encontra-se sempre fortemente relacionada com risco devido as incertezas presentes no processo. A importância de tal estudo requer confiabilidade que pode ser conseguida através da simulação numérica de reservatório. Entretanto, a utilização de tal ferramenta pode aumentar o tempo computacional inviabilizando o processo. Para viabilizá-lo, metodologias foram desenvolvidas possibilitando a análise de risco com simulação baseada em simplificações. Este trabalho procura fornecer detalhes do tratamento de atributos incertos, possibilitando uma análise de risco mais rápida com precisão adequada. A análise concentra-se nos seguintes tópicos: (1) definição de atributos relevantes ao processo; (2) informações relativas a níveis incertos e probabilidades associadas; (3) estudo de sensibilidade; (4) influência da variação do número de níveis e probabilidades associadas relativas ao atributo; e (5) impacto da agregação de atributos. Após o tratamento estatístico dos resultados é possível a definição da curva de risco. Tal análise é feita para o índice econômico VPL (Valor Presente Líquido) que indica o retorno financeiro caso um projeto seja executado.

Palavras-Chave: Incertezas; Simulação Numérica; Análise de Risco.

Abstract – The present work show some details of the risk analysis applied to the appraisal phase of petroleum fields with emphasis in the quantification of the impact of geological uncertainties. Decision analysis applied to petroleum field development plans is always strongly related to risk due to the uncertainties present in the process. This situation requires a detailed study using numerical flow simulation. However, the use of this tool can increase the computational time and can invalidate the process. To make this process possible, some methodologies were developed to use some simplifications in the process. The main objective of this work is to supply necessary information for the treatments of uncertainties of attributes and to make possible risk analysis with adequate precision. The analysis concentrates in the following topics: (1) definition of the number of uncertainty attributes, (2) information related to number of levels and associated probabilities; (3) sensitivity study, (4) influence of number of levels and associated probability of critical attributes, (5) influence of aggregation of attributes. After the statistical treatment of the results it is possible to define the risk curve. The simulations results in these processes are then combined to calculate the NPV (Net Present Value).

Keywords: Uncertainty, Numerical simulation, Risk analysis

1. Introdução

No cenário atual da Exploração e Produção (E&P) de Petróleo no Brasil, decisões devem ser tomadas dentro de um processo de análise de risco onde se avalia o impacto de incertezas no desempenho de cada campo de petróleo onde o objetivo é maximizar o lucro das empresas e minimizar o risco envolvido nos projetos. O processo é sempre bastante crítico porque a maior parte dos investimentos são realizados durante a fase onde o cenário de incertezas é maior. A previsão de produção sob um enfoque probabilístico permite quantificar a análise de incertezas. Tais incertezas encontram-se relacionadas com o desempenho do reservatório, com o volume de óleo produzido, com o fator de recuperação, com o cálculo de reservas de um campo e na obtenção de indicadores econômicos como VPL (Valor Presente Líquido), etc. As incertezas são analisadas sob uma visão parcial do reservatório, visto que, na fase de exploração e descoberta de um campo utilizam-se muitos dados indiretos e poucos e esparsos dados diretos. O enfoque probabilístico reflete a iteração das diversas incertezas consideradas relativas as propriedades do reservatório, características operacionais e econômicas. A utilização do risco nas previsões de produção, ao invés de uma resposta determinística, tem sua utilização crescente nas áreas de E&P devido ao elevado grau de incertezas que acompanham projetos.

2. Importância de quantificar incertezas e Análise de risco

Muitas incertezas podem influenciar o sucesso de projetos de E&P. As mais comuns são devidas a modelos geológicos (volume *in situ*, continuidade, falhas, etc), devido a fator de recuperação (que é função das propriedades do reservatório e estratégias de produção) e devido a modelos econômicos (principalmente preços). Uma análise de risco aplicada a um campo na Fase de desenvolvimento deve focar na quantificação do impacto de incertezas geológicas. As incertezas com relação ao meio físico são provenientes de dúvidas com relação ao modelo estrutural do reservatório, propriedades dos fluidos, rocha e interação rocha-fluido. O Risco é função de (1) incertezas geológicas, (2) incertezas econômicas, e (3) incertezas tecnológicas. No estágio de exploração, volume *in situ* e fator de recuperação são suficientes na análise de risco. Contudo, no estágio de desenvolvimento é também necessário uma informação detalhada sobre a sensibilidade da recuperação, os investimentos necessários, número de poços, produção de água e gás, custos operacionais, etc. A metodologia de análise de risco adotada neste trabalho foi baseada no trabalho proposto por Loschiavo *et al* (2000) e implementada por Steagall e Schiozer (2001) que aplica simulação numérica de fluxo para diversos possíveis cenários do reservatório, combinando os atributos incertos através do conceito de árvore derivativa. A probabilidade de cada modelo final é equivalente ao produto das probabilidades combinadas dos atributos. O número de atributos e o número de níveis de discretização definem o total de números de simulações. A abordagem usual é começar com três níveis para cada atributo: médio (M), pessimista (P) e otimista (O). Assumindo “n” atributos, 3ⁿ simulações são requeridas.

3. Descrição da metodologia

A utilização da simulação numérica no processo tem crescido devido ao aumento da confiabilidade, no aperfeiçoamento da qualidade dos resultados e por fornecer informações de outras variáveis importantes como, produção de água e gás, pressão, estratégia de produção detalhada, etc. O simulador adotado na realização do processo é baseado no modelo *Black-Oil*. Para tornar este processo possível algumas metodologias foram desenvolvidas admitindo simplificações na análise de risco. O principal objetivo deste trabalho é quantificar o impacto de alguns aspectos dessas simplificações, principalmente, no fornecimento de informações necessárias para o tratamento de atributos incertos possibilitando uma análise de risco mais rápida com precisão adequada. O procedimento que define o critério de simplificação no processo encontra-se inserido na quantificação de incertezas geológicas através da descrição dos atributos incertos definidos e seus níveis. O tratamento do procedimento de simplificação na análise de risco baseia-se: (1) definição de atributos relevantes na caracterização do processo; (2) informações relativas a níveis incertos e probabilidades associadas; (3) estudo de sensibilidade e influência da combinação gradativa; (4) influência da variação do número de níveis e probabilidades associadas relativas a atributos; (5) impacto da agregação de atributos.

3.1. Definição e tratamento de atributos incertos

A principal característica de campos na fase de desenvolvimento é um forte cenário relacionado a incertezas relativas ao modelo estrutural do reservatório, às propriedades de fluidos e às propriedades de rocha. A incorporação da incerteza é feita através de fatores multiplicativos e de escala. Para os atributos envolvidos, tal incorporação baseou-se nas informações fornecidas por conhecimento especialista. A Tabela 1 apresenta os atributos incertos envolvidos no processo, bem como seus respectivos níveis e probabilidades associadas.

3.2. Modelo adotado

A conotação adotada para o modelo base é a de modelo determinístico onde os atributos que o caracterizam são definidos supostamente como mais prováveis. O modelo utilizado é composto por dados reais e sintéticos. A estratégia de produção é baseada no esquema *five-spot* para poços verticais com 35 poços. A estratégia de otimização para o caso base foi otimizada para 20 anos de produção por Santos (2002). Os custos de implantação do desenvolvimento e de produção utilizados sem incerteza foram baseados em Pedroso (1999).

Tabela 1: Atributos incertos.

| Atributos | Otimista | | pessimista | |
|-----------------------------------|----------|---------------|------------|---------------|
| | nível | probabilidade | nível | probabilidade |
| Modelo geológico | | | | |
| 1- Geometria externa | | | | |
| Limite (base) | Limit1 | 0.3 | Limit2 | 0.2 |
| 2-geometria interna | | | | |
| Espessura porosa (base) | Netpay1 | 0.15 | Netpay2 | 0.15 |
| Contato óleo – água (base) | Dwoc1 | 0.15 | Dwoc2 | 0.15 |
| Permeabilidade vertical | Kv1 | 0.15 | Kv2 | 0.15 |
| Parâmetros rocha -fluido | | | | |
| Permeabilidade horizontal | Kh1 | 0.15 | Kh2 | 0.15 |
| Compressibilidade da rocha | Cpor1 | 0.15 | Cpor2 | 0.15 |
| Compressibilidade do óleo | Co1 | 0.15 | Co2 | 0.15 |
| Compressibilidade da água | Cw1 | 0.15 | Cw2 | 0.15 |
| Dados PVT | PVT1? | 0.4 | PVT2? | 0.2 |
| Curvas de permeabilidade relativa | Krow1? | 0.33 | Krow2? | 0.33 |

4. Aplicações

4.1. Análise de sensibilidade

O caminho mais efetivo para redução do custo computacional na análise de risco é a redução do número de variáveis. A escolha de atributos importantes (ou críticos) pode ser avaliada através da análise de sensibilidade. O presente trabalho adotou como função-objetivo principal o VPL (Valor presente líquido para 20 anos) e como funções secundárias o Np (Produção acumulada do óleo para 20 anos) e VOIS (Volume de óleo original *In Situ*). Os resultados das duas funções são apresentados na Figura 1. Através da sensibilidade, pode-se demonstrar a ordem de importância para os atributos incertos que encontra-se diretamente relacionada com a função-objetivo adotada para um específico tempo de simulação.

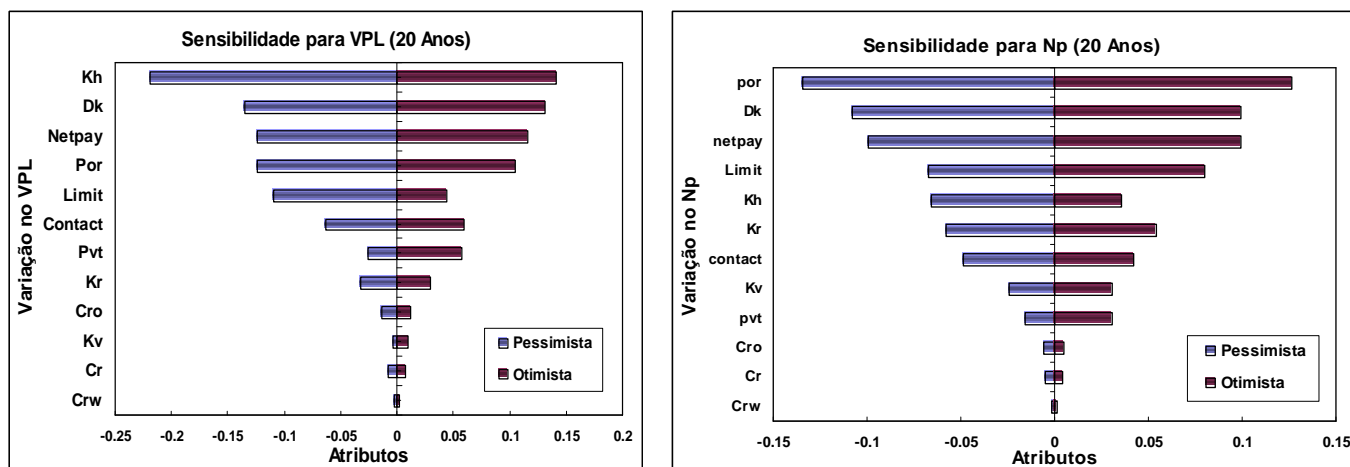


Figura 1. Sensibilidade para VPL e Np dos atributos incertos para 20 anos.

4.2. Influência da combinação gradativa de atributos menos expressivos no estudo de sensibilidade

Através do estudo de sensibilidade é possível a identificação dos atributos críticos cujo objetivo é a redução do número de incertos. Após a análise de sensibilidade os atributos incertos são combinados com suas respectivas probabilidades para montagem dos modelos na construção da curva de risco. O somatório das probabilidades dos modelos combinados perfaz a unidade, mostrando que todas as possíveis realizações baseadas nos dados de entrada são consideradas. Esta etapa é o primeiro tópico do tratamento das simplificações adotadas por metodologias vigentes, que define um range de variação para caracterização dos atributos críticos. O presente tópico mostra o impacto da combinação gradativa com a inclusão dos menos críticos na curva de risco, através da simulação numérica. O número de atributos escolhidos pode ser definido pela influência da adição de cada atributo no processo. A Figura 2 mostra a variação nos percentis quando o número de atributos aumenta. Pode-se verificar pequenas diferenças na variação dos percentis do 5º para 6º atributo em comparação com o tempo na montagem dos modelos e aumento no número de simulações.

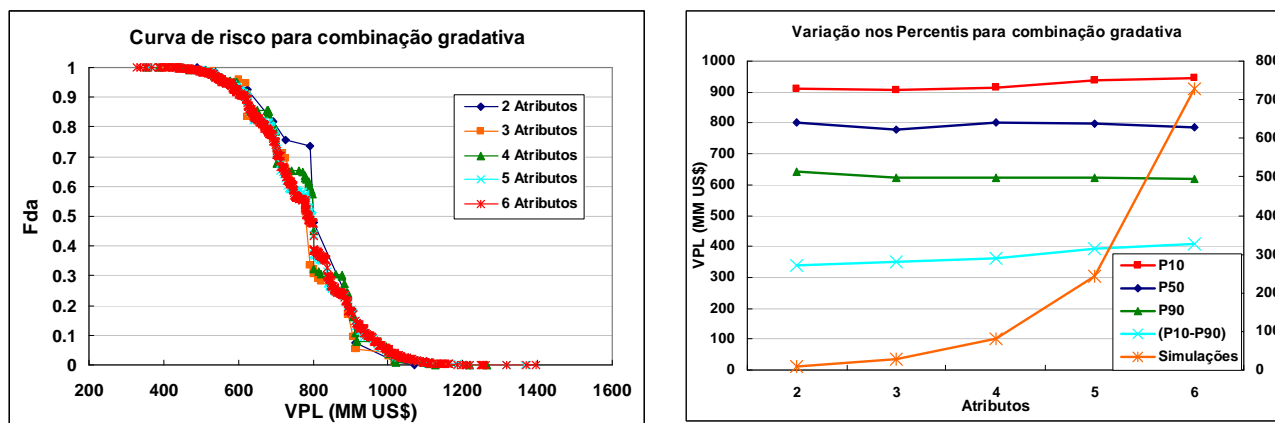


Figura 2. Variação nos percentis (P10, P50 e P90) para VPL e número de simulações.

4.3. Influência da variação do número de níveis incertos e probabilidades associadas para atributos críticos

Para a análise da variação do número de níveis para atributos críticos, que se encontram associados a probabilidades de ocorrência, faz-se necessário à obtenção da distribuição acumulada do atributo. Qualquer variação na probabilidade de ocorrência do mesmo, ou mesmo variação do número de níveis, deve-se reportar a função de distribuição acumulada (*fda*) na obtenção dos novos valores. Caso disponha-se de valores altos, médios e baixos que caracterizem um atributo, pode-se adotar uma distribuição triangular para obtenção da *fda*, desde que tais valores correspondam a P_0 e P_{100} .

Newendorp (1975), apresenta um método de conversão partindo de uma distribuição triangular para a construção de *fda*. Dentro dessa abordagem, dois tópicos serão avaliados: (1) aumento do número de níveis para o atributo mais crítico; (2) variação na probabilidade de ocorrência apenas do atributo mais crítico. Segundo Newendorp (1975), o aumento do número de discretização de níveis pode apresentar resultados mais precisos, devendo-se checar a viabilidade do processo. O atributo mais crítico desse processo pelo VPL foi a permeabilidade horizontal (K_h), como mostrou a Figura 1.

Partindo-se desta informação definiu-se um aumento para 5 níveis incertos que correspondam a probabilidades associadas de 15% para os níveis (otimista e pessimista) e 40% para o caso base. A obtenção dos respectivos níveis foi obtida através da *fda* do (K_h). Os tópicos (1) e (2) foram baseados na combinação gradativa até o 3º atributo crítico. Comparando-se as curvas de risco para o processo base (3 níveis) e o analisado (5 níveis), como mostra a Figura 3, pode-se observar para a curva de risco (5 níveis) apresentou uma melhor distribuição próxima aos percentis P_{10} e P_{90} . A razão é o aumento do número de modelos combinados. A variação nos percentis (otimista, provável e pessimista) foi muito pequena e o número de simulações aumentou em 60%.

Para a análise da variação da probabilidade de ocorrência para K_h , adotou-se 30% para os níveis (otimista e pessimista) e 40% para o modelo base. Através da *fda* apresentada na Figura 3, foram obtidos os níveis incertos correspondentes para nova combinação e obtenção da curva de risco. A Figura 4 mostra o comportamento e a variação para os percentis com relação ao caso base (15% e 70%). A variação mais expressiva foi para P_{90} de 7%.

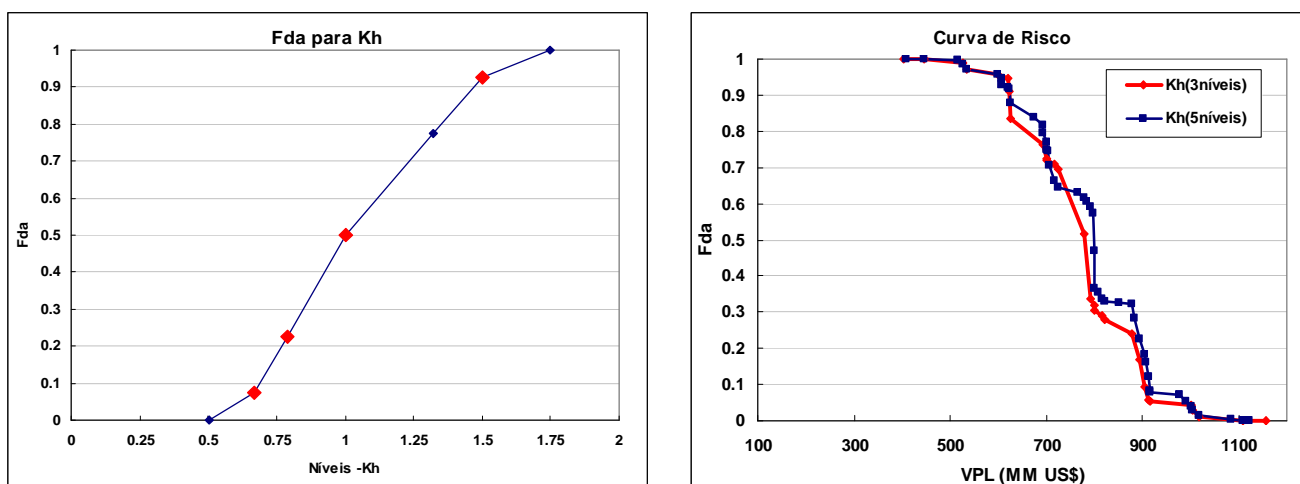


Figura 3. Distribuição acumulada e Curva de risco para aumento na discretização de Kh

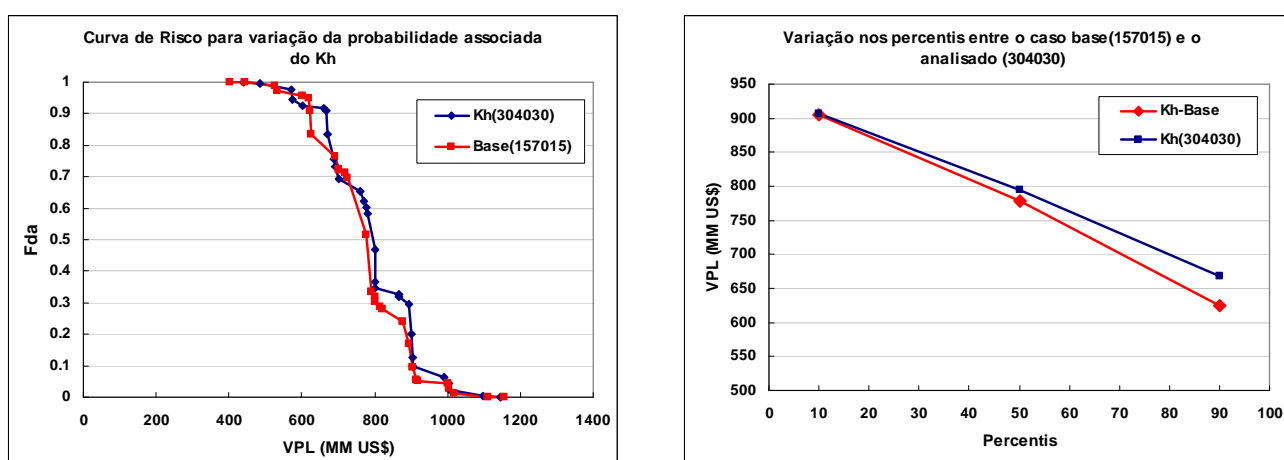


Figura 4. Variação na curva de risco para variação da probabilidade associada do Kh.

Comparando os valores dos percentis (P_{10} , P_{50} e P_{90}) para o processo que investiga a influência do aumento do número de níveis para o atributo mais crítico (3 atributos envolvidos adotando para o mais crítico, 5 níveis), Figura 3, com a combinação gradativa de 4 atributos, Figura 2, verificou-se que praticamente não houve variação nos percentis. O aumento da discretização para Kh aumentou a precisão dos resultados, ainda reduzindo o número de simulações em aproximadamente 40% em comparação com a introdução do 4º atributo do processo.

5-Agregação de atributos

A agregação de atributos visa a redução do número de variáveis na análise de sensibilidade reduzindo o número de simulações no processo. Os atributos analisados foram os relacionados com o volume *in situ*, pois o objetivo foi o de analisar a influência da agregação desses atributos em uma só variável, tentando diminuir o tempo computacional. Esses atributos são porosidade, espessura porosa, limites, contato e espessura total. O tópico subdividiu-se nas seguintes etapas: (1) construção da curva de distribuição para o VOIS na obtenção dos percentis otimista e pessimista; (2) determinação de modelos representativos para atributos agregados; (3) análise de sensibilidade para o VPL com relação aos demais atributos envolvidos no estudo; 4) Construção da curva de risco para o VPL considerando os atributos agregados e os demais atributos envolvidos no processo. Através da curva de distribuição para o VOIS, obteve-se os valores dos percentis ($P_{10}=1.47 \text{ Mm}^3$; $P_{50}=1.24 \text{ Mm}^3$; $P_{90}=1.04 \text{ Mm}^3$). Em seguida modelos representativos para o processo de agregação foram selecionados baseados nas relações entre VOIS X (Fr, Np e VPL). Os mesmos foram renomeados para uma nova análise de sensibilidade do VPL considerando os demais atributos envolvidos no processo, como mostra a Figura 5. Observa-se que a agregação alterou a ordem dos críticos, bem como diminuiu o número de incertos no processo. Através da combinação gradativa construiu-se nova curva de risco para VPL. Foram observadas variações entre os percentis dos processos sem e com agregação, na ordem de (1% entre os percentis otimistas, 1% entre os percentis prováveis e 3% entre os pessimistas), em comparação com a expressiva redução do número de modelos combinados e simulações (em torno de 100 menos).

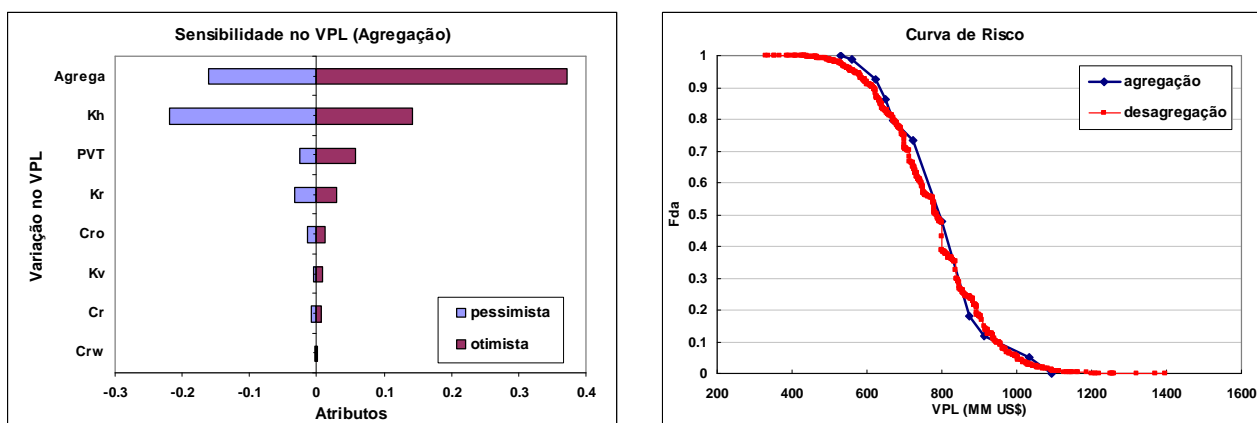


Figura 5. Análise de sensibilidade e curva de Risco para VPL para o processo de agregação.

6. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi o de mostrar exemplos de simplificações no processo de análise de risco aplicada ao desenvolvimento de campos de petróleo, quantificando benefícios no tempo do processo ou número de simulações e comparando a precisão dos resultados. De modo geral, pode-se afirmar que o nível de precisão exigido na análise de risco deve ser adequado aos objetivos dos projetos e ao nível de incerteza envolvido.

Pode-se afirmar também, pelos exemplos apresentados aqui, que uma análise básica pode ser alcançada com esforço computacional viável e que o aumento na precisão dos resultados pode-se exigir um esforço computacional excessivo.

Por todos os exemplos testados ao longo do desenvolvimento deste trabalho, pode-se ainda afirmar que:

- A ordem para atributos críticos encontra-se relacionada com a função-objetivo adotada para determinado tempo de simulação;
- A análise de sensibilidade seguida da utilização da combinação gradativa permite uma análise mais detalhada do processo; tal situação permite ajustar o problema para tempo e precisão requeridos;
- A combinação gradativa de atributos parece mais adequada, pois fica difícil, a priori, estabelecer um critério de parada, pois isso depende fortemente de cada caso;
- A discretização em três níveis parece adequada para os atributos e o aumento do número de níveis só se justifica para atributo mais crítico, pois nesse caso podem apresentar efeito significativo nos resultados;
- A agregação de atributos pode reduzir o número de modelos combinados e o tempo de processamento para a análise de risco embora deva ser realizada com cuidado, pois pode prejudicar os resultados; recomenda-se a agregação somente de atributos com mesmas características.

8. Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional de Petróleo e a Petrobrás pelo apoio financeiro.

9. Referências

- COSTA A.P.A., SCHIOZER, D.J.; “Escolha de Atributos na Análise de Risco em Campos de Petróleo na Fase de Desenvolvimento”, ENCIT, Caxambu, MG, October 15-18, 2002.
- GUEDES, S.S., PINTO, A. C.C., CORÁ, C. A. et al.: “Exploração do Campo de Marlin Sul - Um Marco na História da Petrobrás”, IBP 24698, October 1998.
- LOSCHIAVO, R., STEAGAL D., and SCHIOZER D.J., “Estudo do impacto de incertezas no desempenho de reservatórios de petróleo”, 8th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, Rio Grande do Sul, 2000.
- NEWENDORP, P.D., “Decision Analysis for Petroleum Exploration”, 570 pp, Petroleum Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, USA, 1975.
- SANTOS, J.A.M: “Estudo da Influência da Estratégia de Produção em Análise de Risco de Projetos de E&P”, MS Thesis, University of Campinas, 2002.
- STEAGALL, D.E. and SCHIOZER, D.J.: “Uncertainty Analysis in Reservoir Production Forecast during the Appraisal and Pilot Production Phases”, SPE Reservoir Simulation Symposium, Dallas, USA, SPE 66399, February 2001.